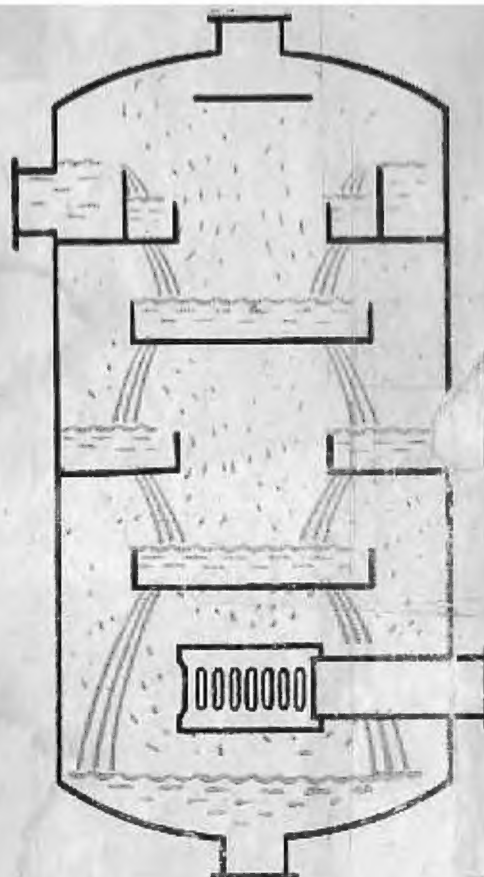


VISIT...

LANZAROTE
Caliente.COM

Труб
Литвин



ВАКУУМНЫЕ ДЕАЭРАТОРЫ



0602 838.

Труб И. А. и Литвин О. П.

Т-77 Вакуумные деаэраторы. М., «Энергия», 1967.

100 с. с илл. (Б-ка теплотехника. Вып. 15). 8000 экз.
27 к.

Изложены основы теории термической деаэрации воды и, в частности вакуумной деаэрации. Рассмотрены условия работы вакуумных деаэраторов, устройство деаэраторных колонок, вспомогательного оборудования и схемы вакуумных деаэраторных установок. Приведены расчетные данные. Освещены вопросы изготовления, монтажа, эксплуатации, контроля и регулирования вакуумных деаэраторных установок. Рассчитана в основном на теплотехников тепловых электростанций, промышленных и отопительных котельных и тепловых сетей.

3-3-3
38-67

6П2.22

ВВЕДЕНИЕ

В результате электрохимических процессов взаимодействия воды с металлом происходит разрушение последнего, называемое коррозией.

Коррозионное разрушение начинается на поверхности соприкосновения металла с водой и постепенно распространяется в глубь металла. Коррозионная активность воды зависит в основном от содержания в ней растворенного кислорода. В результате окисления железа образуются продукты коррозии — окислы железа, называемые железным шламом.

Другие растворенные в воде газы, за исключением углекислоты, неагрессивны. Углекислота способствует кислородной коррозии тем, что препятствует образованию защитного слоя окислов металла. Свободная углекислота снижает щелочность воды, что также благоприятствует коррозии. При высокой температуре (выше 100°C) и отсутствии кислорода в воде свободная углекислота является активным коррозионным агентом. Агрессивными газами являются также сероводород и в некоторых случаях аммиак, однако присутствие их в воде не типично.

Коррозионное протравление паровых котлов, испарителей, паропреобразователей, подогревателей, трубопроводов, арматуры, баков и другого оборудования наносит большой ущерб тепловым электростанциям, промышленным котельным, тепловым сетям и другим теплоэнергетическим объектам.

Исключительно важное значение имеет предотвращение коррозии паровых котлов высокого давления. Эти котлы являются наиболее ответственным оборудованием тепловых электростанций. Повреждение такого котла, и в особенности самой дорогой его части — барабана, связано с трудным ремонтом и даже заменой барабана.

Кроме того, продукты коррозии, попадая с питательной водой в котлы, могут вызвать нарушение циркуляции и перегрев труб котлов.

Поэтому на тепловых электростанциях, особенно на станциях высокого давления, уделяется большое внимание снижению содержания кислорода в питательной воде.

Скорость коррозии зависит от концентрации кислорода в воде. Эта зависимость для стали по данным опытов

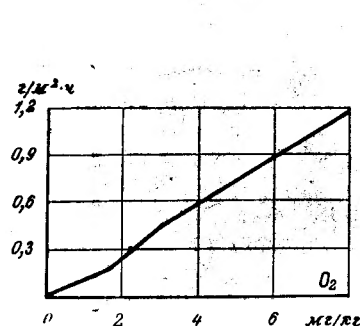


Рис. 1. Влияние концентрации кислорода, растворенного в воде, на скорость коррозии стали.

Всесоюзного теплотехнического института приведена на рис. 1.

Как видно из рис. 1, скорость коррозии стали пропорциональна концентрации кислорода в воде. Так, при увеличении содержания кислорода от 4 до 8 мг в 1 кг воды количество железа, перешедшего в железный шлам с одного квадратного метра поверхности в час, увеличивается с 0,6 до 1,2 г, т. е. при повышении концентрации кислорода в воде в 2 раза скорость коррозии тоже возрастает в 2 раза.

Температура воды сильно влияет на скорость коррозии. Рисунок 2 показывает, что скорость коррозии, выраженная в миллиметрах глубины протравления металла в год, в замкнутой системе растет с повышением температуры. В открытой системе максимум скорости коррозии наступает при температурах 70—75° С.

Понижением концентрации кислорода в воде при повышении ее температуры объясняется снижение скорости коррозии в открытых системах, из которых возможен

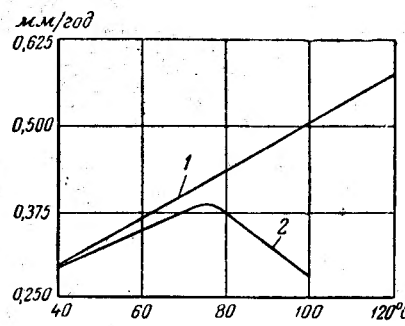


Рис. 2. Зависимость скорости коррозии стали от температуры. 1 — закрытая система; 2 — открытая система.

выход газов (кривая 2 на рис. 2). Действие двух факторов — температуры и концентрации — в противоположных направлениях приводит к перегибу кривой скорости коррозии при температурах 70—75° С.

Водопроводная и химочищенная воды обычно близки к насыщению кислородом. При температуре не выше 25° С вода не особенно опасна в отношении коррозии. Другое дело, если такая вода нагревается в том или ином подогревателе либо путем смешения с водой более высокой температуры, например в паровом котле или в тепловой сети. Тогда коррозионная активность воды растет в согласии с кривыми рис. 2.

Согласно существующим нормам, содержание растворенного кислорода в воде, питающей паровые котлы, давлением выше 98 бар (100 ат), не должно превышать 10 мкг/кг (0,01 мг/кг), соответственно для котлов давлением 39—98 бар (40—100 ат) — не выше 20 мкг/кг, давлением 10—38 бар (10—39 ат) — не выше 30 мкг/кг, давлением до 10 бар (~10 ат) — не выше 50 мкг/кг. Содержание растворенного кислорода в воде, питающей испарители, паропреобразователи и тепловые сети, не должны превышать 50 мкг/кг.

Большой ущерб причиняет коррозия тепловым сетям. Практика показывает, что срок службы тепловых сетей, питаемых недеаэрированной водой, т. е. водой, из которой не удалены растворенные газы, в 3—4 раза меньше срока службы тепловых сетей, питаемых деаэрированной водой. Известны случаи, когда трубы тепловых сетей горячего водоснабжения приходилось менять через 1½—2 года работы из-за интенсивной внутренней коррозии вплоть до образования многочисленных сквозных свищей. Особенно сильно протекает процесс коррозии в сетях, питаемых химочищенной водой, т. е. в случаях, когда внутренняя поверхность труб не защищена коркой накипи.

Утечки при коррозионных поражениях приводят к потерям горячей воды и к перерасходу топлива. Выход тепловой сети из строя связан с большими затратами. Ремонт трубопроводов труден вследствие сложного подземного хозяйства промышленных предприятий и городов.

Коррозия и отложения железного шлама увеличивают шероховатость труб. В результате увеличивается гидравлическое сопротивление и повышается расход

электроэнергии на перекачку воды, одновременно уменьшается пропускная способность трубопроводов.

Рассчитаем на конкретном примере количество образующегося железного шлама и глубину протравления стенок труб тепловой сети, питаемой недеаэрированной водой.

В тепловую сеть горячего водоразбора поступает воды $G_v = 400$ т/ч. Диаметр трубопровода 300 мм, длина 6 км. Поступающая вода содержит кислорода $g_{O_2} = 9,3$ мг/кг. Продолжительность работы тепловой сети 5 000 ч в год. Опытным установлено, что содержание кислорода в воде в конце трубопровода снижается в 2 раза. Следовательно, 50% растворенного кислорода затрачено на коррозию металла.

Расчет. Количество кислорода, израсходованного на образование продуктов коррозии в эквиваленте Fe_3O_4

$$0,5 \cdot 0,001 \cdot g_{O_2} \cdot G_v = 0,5 \cdot 0,001 \cdot 9,3 \cdot 400 = 1,86 \text{ кг/ч.}$$

На образование Fe_3O_4 расходуется 2,62 массовых частей железа на одну массовую часть кислорода.

Соответственно израсходовано железа

$$2,62 \cdot 1,86 = 4,87 \text{ кг/ч.}$$

За год израсходовано железа на коррозию

$$5\,000 \cdot 4,87 = 24\,350 \text{ кг,}$$

что даст железного шлама

$$\frac{24\,350 \cdot (2,62 + 1)}{2,62} = 33\,600 \text{ кг.}$$

Объем израсходованного железа составляет:

$$\frac{24\,350}{7\,800} = 3,12 \text{ м}^3,$$

где 7 800 — плотность железа, кг/м³.

Следовательно, толщина стенок труб за год уменьшается на

$$\frac{3,12 \cdot 1000}{3,14 \cdot 0,3 \cdot 6\,000} = 0,55 \text{ мм,}$$

где числитель — объем израсходованного железа, знаменатель — внутренняя поверхность трубопровода.

Из изложенного следует, что коррозия металла, вызванная агрессивным действием воды, причиняет теплоэнергетическому хозяйству большой ущерб. Вот почему борьба с коррозией имеет столь важное значение и ей уделяется много внимания.

Главным направлением в деле защиты теплоэнергетического оборудования от коррозии является термическая деаэрация воды.

Существуют и другие способы борьбы с коррозией: химическое обескислороживание, десорбционное обески-

слороживание, сталестружечная фильтрация, защитные покрытия. Об этих способах следует коротко сказать.

Химические способы обескислороживания путем обработки воды сульфитом натрия, гидразином и другими реагентами самостоятельного значения не имеют. Они применяются в качестве коррекционных способов для связывания остаточного кислорода после термической деаэрации, в тех случаях, когда требуется глубокое обескислороживание воды.

Десорбционное обескислороживание — метод удаления кислорода из воды путем продувки ее обескислороженным воздухом. Для удаления кислорода из воздуха последний пропускают через раскаленный древесный уголь. Кислород воздуха расходуется на горение углерода, так что десорбционное обескислороживание требует затраты древесного угля. Для нагрева древесного угля до температуры 500—600° С необходимо специальное нагревательное устройство или используется топка парового котла. В силу таких условий десорбционное обескислороживание применимо в небольших котельных установках.

Сталестружечные фильтры требуют нагрева воды до температуры не ниже 80° С, они пригодны при низком начальном содержании кислорода в воде.

Следует отметить, что указанными способами углекислота из воды не удаляется, а при десорбционном способе содержание углекислоты в воде даже увеличивается.

Защитные материалы — резина, эпоксидные смолы, специальные лаки и др. используются для покрытия поверхностей аппаратуры химводоочисток и баков горячей воды.

Каждый из перечисленных способов в отдельности не решает полностью задачи противокоррозийной защиты всего оборудования теплоэнергетического хозяйства.

Основным способом предотвращения коррозии, как уже отмечалось, является термическая деаэрация (дегазация) воды. Путем термической деаэрации удаляются из воды все растворенные газы.

В тех случаях, когда технически возможно и экономически целесообразно получать деаэрированную воду с температурой 100° С и выше, применяются деаэраторы, работающие при атмосферном давлении или давлении выше атмосферного.

Для получения деаэрированной воды с температурой ниже 100°C применяются вакуумные деаэраторы. Они преимущественно работают при вакууме¹ $60\text{--}93 \text{ кн/м}^2$ ($450\text{--}700 \text{ мм рт. ст.}$) и дают деаэрированную воду с температурой $40\text{--}75^{\circ}\text{C}$. В тех случаях, когда достижим более глубокий вакуум — $94\text{--}96 \text{ кн/м}^2$ ($705\text{--}720 \text{ мм рт. ст.}$), возможно снижение нижнего предела температуры деаэрированной воды до $30\text{--}35^{\circ}\text{C}$.

Для получения деаэрированной воды с температурой в пределах $75\text{--}95^{\circ}\text{C}$ наряду с вакуумными деаэраторами, работающими в режиме малого вакуума — $15\text{--}60 \text{ кн/м}^2$ ($112\text{--}450 \text{ мм рт. ст.}$), применимы и атмосферные деаэраторы с последующим охлаждением деаэрированной воды.

Области применения вакуумных деаэраторов

1. Тепловые электростанции высокого давления. Защита тракта химочищенной воды от водоочистки до основных деаэраторов станции.

Деаэрация производится на выходе воды из химводоочистки. В некоторых случаях целесообразна установка вакуумных деаэраторов не на выходе, а на входе воды в химводоочистку или в рассечку схемы водоочистки. В этих случаях деаэраторы могут совмещать функции подогревателей и декарбонизаторов.

Необходима вакуумная деаэрация воды, поступающей на фильтры обессоливающих установок, в которых используются высокоосновные аниониты, поглощающие углекислоту и кислород.

2. Тепловые сети без разбора и с разбором горячей воды для промышленных и бытовых нужд. Деаэрация поступающего в сеть добавка водопроводной или химочищенной воды. Величина добавка в некоторых тепловых сетях достигает 100% . Следует отметить, что использование пара из вакуумных отборов теплофикационных турбин на вакуумные деаэраторы, питающие тепловые сети

¹ В дальнейшем будем широко пользоваться термином «вакуум». Вакуум, или вакуумметрическое давление, что то же самое, есть разность между атмосферным давлением (которое также называется барометрическим давлением) и абсолютным давлением внутри аппарата. Вакуум выражается в килоньютонах на квадратный метр (кн/м^2), барах или миллиметрах ртутного столба ($1 \text{ кн/м}^2 = 7,5 \text{ мм рт. ст.}$).

с горячим водоразбором, повышает тепловую экономичность теплофикационных турбин.

3. Промышленные котельные установки, питаемые химочищенной водой, в тех случаях, когда питательные насосы не приспособлены для работы на высокоподогретой воде, или при наличии водяных экономайзеров и при низкой температуре точки росы дымовых газов. Питательная вода низкой температуры снижает температуру уходящих газов за водяным экономайзером; соответственно повышается к. п. д. котельной установки. Снижение температуры питательной воды на 10°C уменьшает потерю тепла с уходящими газами в среднем на $0,8\%$.

4. Химводоочистки, снабжающие водой котлы-утилизаторы, установки испарительного охлаждения промышленных печей, паропреобразователи, паровозы внутризаводского транспорта и другие потребители химочищенной воды.

5. Районные и квартальные отопительные котельные с водогрейными котлами. Деаэрация подпиточной воды.

6. Центральные тепловые пункты. Деаэрация водопроводной воды для горячего водоснабжения.

7. Станции перекачки производственного конденсата с открытыми баками. Деаэрация конденсата.

8. Установки производственного горячего водоснабжения с водогрейными котлами или с паровыми подогревателями, выдающие воду с температурой $50\text{--}80^{\circ}\text{C}$ для технологических нужд.

9. Технологические аппараты, охлаждаемые водой в случае, если вода нагревается выше 50°C . Деаэрация охлаждающей воды.

Следует отметить, что в случаях отсутствия пара избыточного давления, вакуумная деаэрация является единственно возможным способом термической деаэрации воды.

Особым видом вакуумных деаэраторов являются конденсаторы паровых турбин, в которых осуществляется наряду с основным процессом — конденсацией отработавшего в турбине пара — дегазация конденсата. В конденсаторах паровых турбин может осуществляться также дегазация добавляемой химочищенной воды, если допустимо ее непосредственное смешение с конденсатом пара. В этом случае отпадает необходимость в дополнительных термических деаэраторах, что упрощает тепловую схему станции и повышает ее экономичность. Тем-

температура химочищенной воды, добавляемой в конденсаторы, должна быть близка к температуре насыщения в конденсаторе. Необходимость защиты тракта химочищенной воды до конденсатора сохраняется.

Вакуумная дегазация воды и других жидкостей находит применение также в технологических процессах химической, нефтедобывающей, пищевой и других отраслей промышленности.

Из изложенного видно, что вакуумная деаэрация воды наряду с решением основной задачи — предотвращения коррозии — может повышать экономичность теплоиспользования в энергетических установках. Применение вакуумной деаэрации для технологических целей значительно расширяет области использования этого способа дегазации.

Атмосферные деаэраторы и деаэраторы под давлением нашли широкое применение и, как правило, являются обязательными элементами оборудования всех тепловых электростанций.

Вакуумные деаэраторы не получили пока большого распространения. Это объясняется меньшей изученностью вакуумных деаэраторов по сравнению с атмосферными, отсутствием апробированных типовых конструкций, а также недостаточным знакомством широких кругов теплотехников с вакуумной деаэрацией воды.

С развитием теплоэнергетики возросло значение вакуумных деаэраторов и повысился интерес к ним. Всесоюзное научно-техническое совещание по термической деаэрации воды, происходившее в 1960 г. в Ленинграде, в своем решении отметило: «Считать первоочередной задачей всестороннее испытание и освоение производства вакуумных деаэраторов, предназначенных для работы в промышленных котельных, для горячего водоснабжения и на химводоочистках». Совещание отметило также необходимость изучения деаэрации под вакуумом в конденсаторах паровых турбин.

В 1961 г. вышел ГОСТ 9654-61 на термические деаэраторы для котельных установок. В него включены и вакуумные деаэраторы. В 1964 г. утвержден ГОСТ на вакуумные деаэраторы для тепловых сетей.

Согласно ГОСТ 9654-61, вакуумные деаэраторы для стационарных котельных установок должны выдавать деаэрированную воду с остаточным содержанием растворенного кислорода не более 50 мкг/кг . Такую же норму

содержания кислорода предусматривает ГОСТ на вакуумные деаэраторы для тепловых сетей. Если принять в среднем содержание кислорода в водопроводной и химочищенной воде 8 мг/кг , то в вакуумном деаэраторе для котельной установки или для тепловой сети содержание кислорода в воде должно быть снижено в $\frac{8}{0,05} = 160$ раз.

Содержание свободной углекислоты в воде из вакуумных деаэраторов, предназначенных для питания котлов низкого давления и для тепловых сетей, не нормируется, однако должно сводиться к минимуму.

В последние годы начато внедрение вакуумных деаэраторов на районных и промышленных тепловых электростанциях, в промышленных котельных и установках горячего водоснабжения.

Экономическая эффективность вакуумного деаэратора определяется путем сравнения его экономического показателя с таким же показателем атмосферного деаэратора той же производительности при условии, что в обоих вариантах температуры поступающей (недеаэрированной) и выходящей (деаэрированной) воды одни и те же¹ и глубина обескислороживания воды одинакова.

Основным элементом затрат на деаэрацию воды является стоимость пара, которая определяется по стоимости эквивалентного количества электроэнергии — дополнительного количества электроэнергии, вырабатываемого турбиной при использовании в ней пара, отбираемого на деаэратор (т. е. когда используется теплоперепад этого пара от камеры отбора до конденсатора).

Как показали расчеты, стоимость деаэрации воды в вакуумных деаэраторах на 30—40% ниже, чем в атмосферных деаэраторах с водоводяными охладителями. При работе вакуумного деаэратора на беспаровом режиме (режиме перегретой воды) затраты на деаэрацию воды снижаются в 2—3 раза.

В тех случаях, когда по техническим условиям может быть применена только вакуумная деаэрация, расчет экономической эффективности выполняется на основе определения выигрыша, который дает защита металла от коррозии.

¹ Атмосферный деаэратор снабжается водоводяным охладителем деаэрированной воды.

ГЛАВА ПЕРВАЯ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ВАКУУМНОЙ ДЕАЭРАЦИИ ВОДЫ

1-1. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТЕРМИЧЕСКОЙ ДЕАЭРАЦИИ ВОДЫ

Термическая деаэрация воды основана на использовании закона растворимости газов в жидкости — закона Генри. Согласно этому закону, концентрация газа, растворенного в жидкости, зависит от концентрации того же газа в газовой или парогазовой смеси над жидкостью. Концентрация газа C в жидкости прямо пропорциональна концентрации газа C_r в газовой или парогазовой смеси. Если $C_r=0$, то $C=0$.

Концентрация газа C_r прямо пропорциональна его парциальному давлению p_r . Парциальное давление отдельного газа это то давление, которое он имел бы, если бы один занимал весь объем смеси газов. Общее давление газовой или парогазовой смеси p равно сумме парциальных давлений газов и паров, составляющих смесь (закон Дальтона):

$$p = p_1 + p_2 + p_3 + \dots + p_n. \quad (1)$$

Так как C_r прямо пропорциональна p_r , то зависимость C от C_r можно представить как зависимость C от p_r и выразить закон Генри применительно к воде так: растворимость газа в воде прямо пропорциональна его парциальному давлению над водой:

$$C = \psi p_r, \text{ мг/кг}, \quad (2)$$

где ψ — коэффициент растворимости газа в воде, мг/кг · бар.

Коэффициент ψ показывает, сколько миллиграмм газа растворяется в 1 кг воды при парциальном давлении газа в парогазовой смеси над водой, равном 1 бар.
 p_r — парциальное давление газа над водой, бар.

Таблица 1
Коэффициенты растворимости газов в воде
в зависимости от температуры воды,
мг/кг · бар

Температура воды, °С	Кислород, O ₂	Азот, N ₂	Углекислый газ, CO ₂
0	68,3	29,15	3385
5	60,4	25,8	2755
10	53,55	23,05	2335
15	48,5	20,8	1990
20	43,65	19,05	1710
25	39,9	17,75	1470
30	36,8	16,4	1295
35	34,35	15,5	1150
40	32,55	14,7	1040
50	29,45	13,45	846
60	27,45	12,65	734
70	25,8	12,15	642
80	24,8	11,95	571
90	24,25	11,85	509
100	24,05	11,75	459

Коэффициент растворимости газа ψ зависит от температуры. С повышением температуры ψ уменьшается, стало быть растворимость газа с повышением температуры также уменьшается. Значения коэффициентов растворимости ψ в воде кислорода (O₂), азота (N₂) и углекислого газа (CO₂) приведены в табл. 1.

Вычисленное по формуле (2) содержание растворенного газа в воде отвечает состоянию полного насыщения воды газом.

Пример. Определить содержание растворенного кислорода, насыщающего воду при температурах 20 и 50° С. Над водой атмосферный воздух, его давление $p_{вз}=1,01$ бар (760 мм рт. ст.).

Решение. Если известна массовая (весовая) доля газа в смеси, то его парциальное давление определяется по формуле

$$p_r = p_{смеси} g_r \frac{R_r}{R_{смеси}}$$

Массовая (весовая) доля кислорода в воздухе $g_r=0,23$. Газовые постоянные: кислорода $R_r=260$ Дж/кг · град, воздуха $R_{вз}=287$ Дж/кг · град.

Парциальное давление кислорода в воздухе:

$$p_r = 1,01 \cdot 0,23 \cdot \frac{260}{287} = 0,21 \text{ бар.}$$

По табл. 1 находим значения ϕ для кислорода. При температуре 20°C $\phi=43,65$, при температуре 50°C $\phi=29,45 \text{ мг/кг} \cdot \text{бар}$.
Содержание растворенного кислорода при температуре 20°C по формуле (2)

$$C = 43,65 \cdot 0,21 = 9,2 \text{ мг/кг.}$$

То же при температуре 50°C

$$C = 29,45 \cdot 0,21 = 6,2 \text{ мг/кг.}$$

На зависимости растворимости газов в воде от температуры и давления основана работа термического деаэрата. Для удаления из воды газов необходимо создать в деаэраторе температуру и давление, при которых растворимость газа станет равной нулю.

Рассмотрим, как эти условия достигаются. Кипение жидкости происходит при такой температуре, при которой давление паров жидкости по величине равно полному давлению в пространстве над жидкостью. Следовательно, при кипении воды давление водяных паров равно полному давлению над кипящей водой, и тогда парциальные давления газов в парогазовой смеси над кипящей водой практически близки к нулю. Стало быть согласно закону Генри (2), растворимость газов в кипящей воде равна нулю.

Будем нагревать воду, находящуюся в открытом сосуде под давлением атмосферного воздуха. Как изменится растворимость кислорода в воде? При нагревании вода испаряется. С повышением температуры увеличивается испарение воды. При этом повышается парциальное давление водяных паров в воздухе над поверхностью воды. Поскольку общее давление над водой неизменно, то, в согласии с законом Дальтона, парциальное давление воздуха понижается, соответственно понижается и парциальное давление кислорода в воздухе. С повышением температуры уменьшается коэффициент растворимости ϕ кислорода в воде. Обращаясь к формуле (2), видим, что растворимость кислорода в воде при нагревании уменьшается вследствие одновременного уменьшения коэффициента растворимости ϕ и парциального давления кислорода p_r над водой. Доведем нагрев воды до температуры кипения. Как известно, при атмосферном давлении вода кипит при температуре 100°C . При этой

температуре коэффициент растворимости кислорода $\phi = 24,05 \text{ мг/кг} \cdot \text{бар}$ (табл. 1). Парциальное давление p_r кислорода над кипящей водой равно нулю. Следовательно, по закону Генри растворимость кислорода в воде при атмосферном давлении и температуре 100°C (состояние кипения) также равно нулю.

Если давление над водой выше атмосферного, то соответственно выше температура кипения. Поэтому для достижения нулевой растворимости газов при давлении выше атмосферного требуется более высокий нагрев воды. Например, при давлении 4 бар температура кипения воды $143,8^\circ\text{C}$, следовательно, до этой температуры необходимо нагреть воду, чтобы снизить растворимость газов до нуля.

Итак, нулевая растворимость газов в воде при любом давлении достигается при кипении воды. Практически в термических деаэраторах воду удается нагреть до температуры немного ниже температуры кипения. Для достижения наибольшей глубины деаэрации добиваются, чтобы разность между температурой кипения и конечной температурой воды в деаэраторе была минимальной — $0,1-0,2^\circ\text{C}$. Эту разность температур называют недогревом воды.

1.2. ВАКУУМНАЯ ДЕАЭРАЦИЯ ВОДЫ

Если давление над водой меньше атмосферного, то вода кипит при температуре ниже 100°C . Чем меньше давление, тем ниже температура кипения. Зависимость между давлением и температурой кипения воды в интервале $20-100^\circ\text{C}$ показана на графике рис. 3.

Процесс деаэрации по своей физической сущности не зависит от величины абсолютного давления. Нулевая растворимость газов может быть достигнута при любой температуре кипения, а значит и при температуре кипения ниже 100°C , так что деаэрацию воды можно осуществить при давлении ниже атмосферного. Термические деаэраторы, работающие под давлением ниже атмосферного, называются вакуумными деаэраторами.

Рассмотрим, как изменяется содержание растворенного кислорода в воде при нагревании, если давление над водой ниже атмосферного, например $13,3 \text{ кн/м}^2$ (100 мм рт. ст.). Как видно из графика рис. 4, с повышением температуры парциальное давление водяных паров растет, а парциальное давление воздуха и содержа-

щегося в нем кислорода падает, общее же давление $13,3 \text{ кН/м}^2$ сохраняется неизменным. При температуре $51,5^\circ \text{C}$ ($51,5^\circ \text{C}$ — температура кипения воды при давлении $13,3 \text{ кН/м}^2$) парциальное давление водяных паров становится равным полному давлению, а давление воздуха и содержание в нем кислорода падает до нуля. Соответственно падает содержание растворенного кислорода в воде. При температуре $51,5^\circ \text{C}$ оно достигает нуля.

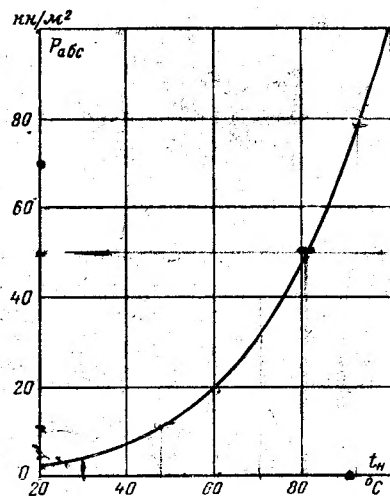


Рис. 3. Зависимость между температурой кипения воды и абсолютным давлением.

Пример. Температура воды 30°C . Над водой воздух, насыщенный водяными парами, полное давление паровоздушной смеси 24 кН/м^2 (180 мм рт. ст.). Определить содержание растворенного кислорода в воде при полном ее насыщении.

Ответ. Содержание O_2 — $1,5 \text{ мг/кг}$.

Пример. Какое давление необходимо поддерживать в вакуумном деаэраторе, чтобы получить обескислороженную воду с температурой 55°C ?

Ответ. Так как давление водяных паров при температуре кипения 55°C равно 16 кН/м^2 , то, следовательно, в деаэраторе необходимо поддерживать давление 16 кН/м^2 . Это видно также из рис. 3.

Мы уже знаем, что в термическом деаэраторе должны быть созданы давление и температура, отвечающие условиям нулевой растворимости газов в воде. В вакуумном деаэраторе это может быть достигнуто одним из двух способов.

Первый способ. Вода нагревается в вакуумном деаэраторе паром до температуры близкой к температуре кипения. Такой способ применяется, если температур

ние воздуха и содержание в нем кислорода падает до нуля. Соответственно падает содержание растворенного кислорода в воде. При температуре $51,5^\circ \text{C}$ оно достигает нуля.

На графике рис. 5 дано содержание растворенного кислорода, насыщающего воду, в зависимости от температуры при давлении воздуха над водой в пределах 4 – 40 кН/м^2 (30 – 300 мм рт. ст.). С помощью этого графика можно решать различные вопросы, связанные с работой вакуумных деаэраторов. Приведем два примера.

0602838

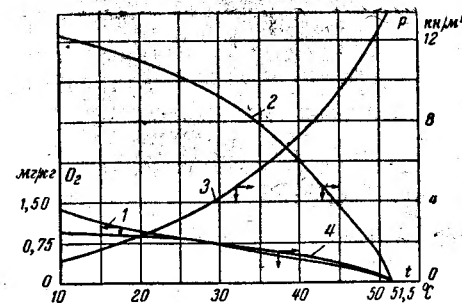


Рис. 4. Зависимость содержания растворенного кислорода, насыщающего воду, и парциальных давлений воздуха, кислорода и водяного пара над водой от температуры при полном давлении паровоздушной смеси над водой $13,3 \text{ кН/м}^2$ (100 мм рт. ст.); относительная влажность воздуха 100%.

1 — содержание кислорода, растворенного в воде; 2 — парциальное давление воздуха; 3 — парциальное давление водяного пара; 4 — парциальное давление кислорода, содержащегося в воздухе.

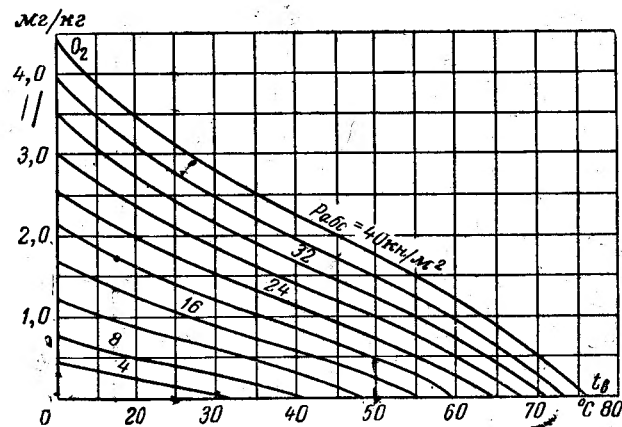


Рис. 5. Зависимость содержания растворенного кислорода, насыщающего воду, от температуры и давления. Над водой воздух; относительная влажность воздуха 100%.

БИБЛИОТЕКА
Уральского Политехнического института
им. С. М. Кирова

поступающей воды ниже температуры кипения, соответствующей давлению в деаэраторе.

Как уже отмечалось выше, вакуумные деаэраторы преимущественно работают при вакууме 60—93 кн/м² (450—700 мм рт. ст.). Этим величинам при атмосферном давлении 1 бар = 100 кн/м² (750 мм рт. ст.) соответствуют абсолютные давления в деаэраторе 40—7 кн/м² (300—50 мм рт. ст.) и температуры кипения воды 40—75°С.

Важным преимуществом вакуумных деаэраторов является возможность использования пара низкого давления — даже ниже атмосферного. Для вакуумных деаэраторов, работающих в указанных условиях, применим пар с абсолютным давлением 0,2—0,7 бар (температура насыщенного пара 60—90°С). Вследствие меньшего нагрева воды расход пара в вакуумных деаэраторах ниже, чем в атмосферных.

Второй способ. Деаэратор работает без подачи в него пара. Такой способ применяется, если температура поступающей воды выше температуры кипения, соответствующей давлению в деаэраторе. В этом случае вода, поступающая в деаэратор, мгновенно вскипает. Ее температура быстро снижается до температуры кипения. За счет падения температуры воды выделяется тепло, которое расходуется на парообразование.

Деаэраторы, работающие по второму способу, называются деаэраторами перегретой воды. В деаэраторе перегретой воды вследствие мгновенного вскипания вода сразу становится пересыщенным газовым раствором. Процесс выделения растворенных газов из пересыщенного раствора происходит энергично и быстро.

Если температура поступающей воды ниже температуры кипения, соответствующей давлению в деаэраторе, то работа на режиме перегретой воды также возможна. Для этого воду нагревают до поступления в деаэратор на 5—10°С выше температуры кипения. Нагрев воды производится паром в подогревателе поверхностного или смешивающего типа.

Вакуумные деаэраторы могут работать и по способу «холодной» деаэрации. Такая деаэрация происходит при температуре воды, поступающей в деаэратор, ниже температуры кипения в нем. Деаэрация идет только за счет вакуума, при котором снижается общее и парциальное давление газов над водой.

Например, содержание кислорода, насыщающего воду при температуре 20°С и атмосферном давлении, составляет 9,2 мг/кг (см. пример выше). Если такая вода поступит в сосуд, в котором поддерживается абсолютное давление 8 кн/м² (60 мм рт. ст.), то содержание кислорода в воде снизится до 0,5 мг/кг (рис. 5).

Способ «холодной» деаэрации применяется в случаях, когда не требуется глубокая деаэрация воды или недопустимо повышение ее температуры.

Деаэрация воды без нагрева и, следовательно, без затраты пара, только за счет вакуума, значительно упрощает устройство и эксплуатацию деаэраторной установки.

Отсос газов из вакуумных деаэраторов всех типов осуществляется с помощью вакуум-насосов или эжекторов: пароструйных и водоструйных.

Вместе с газами, выделившимися из воды, из деаэратора отсасываются: избыточный пар, называемый выпаром, газы, поступившие с греющим паром, и воздух, проникший через неплотности аппаратов и трубопроводов, находящихся под вакуумом. Воздух, поступающий через неплотности, называют присосами.

С помощью вакуум-насосов и эжекторов достигается остаточное абсолютное значение в вакуумном деаэраторе до 4 кн/м² (30 мм рт. ст.). В средних условиях эксплуатации остаточное давление выше и составляет 8—10 кн/м² (60—75 мм рт. ст.).

Для создания требуемого вакуума и чтобы не перегружать газоотсасывающие устройства, необходимо обеспечить поступление в них минимального количества пара. С этой целью устанавливают охладитель выпара между деаэратором и вакуум-насосом или эжектором. Охладитель выпара представляет собой конденсатор, в котором конденсируется 98—99% выпара.

Необходимым условием нормальной работы вакуумного деаэратора является воздушная плотность всей системы, работающей под вакуумом. Это обеспечивает отсутствие присосов, или, практически, минимум присосов, достижимый в эксплуатации.

1-3. УСЛОВИЯ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЕ ИНТЕНСИВНОЕ ПРОТЕКАНИЕ ПРОЦЕССА ВАКУУМНОЙ ДЕАЭРАЦИИ

Выше были рассмотрены физические закономерности выделения растворенных газов из воды. Главный вывод: нулевая растворимость газов достигается при их парци-

альных давлениях над водой, равных нулю. Для этого требуется довести воду до температуры кипения, соответствующей давлению в деаэраторе, и быстро отводить выделяющиеся газы. В действительности в деаэраторах (за исключением деаэраторов перегретой воды) вода доводится до температуры несколько ниже температуры кипения. Поэтому полное удаление газов из воды не достигается.

Однако задача деаэрации воды заключается не только в достижении соответствующих температуры и давления, указываемых законом Генри, при которых растворимость газов в воде падает до нуля. Закон Генри — это идеализированное выражение статики процесса деаэрации, т. е. такого равновесного состояния, к которому процесс стремится, в действительности не достигая его.

Чтобы выделение из воды газов и отвод их из деаэратора шли достаточно быстро и была достигнута глубокая дегазация, требуются соответствующие условия. Для выяснения этих условий познакомимся подробнее с ходом процесса дегазации воды.

В вакуумном деаэраторе большая часть газов выделяется из воды в виде пузырьков, которые выходят на поверхность воды. Меньшая, остаточная часть газов выделяется путем диффузии. Диффузия есть перенос в жидкости растворенного вещества по направлению от большей концентрации к меньшей. Диффузия газа идет от внутренних слоев воды, где концентрация растворенных газов больше, к наружным, где концентрация меньше. Затем газы через поверхностную пленку переходят в пар. Скорость диффузии зависит от физических параметров воды: вязкости и поверхностного натяжения, и от степени дробления воды. С уменьшением вязкости и поверхностного натяжения, и особенно с увеличением степени дробления воды скорость диффузии увеличивается. Вязкость и поверхностное натяжение, замедляющие диффузию, с повышением температуры уменьшаются. Поэтому при высокой температуре диффузионный процесс протекает быстрее.

Дробление воды уменьшает путь прохождения газа в воде и ускоряет его выход из нее благодаря увеличению поверхности контакта воды с паром.

В деаэраторе 90—95% кислорода выделяются из воды в виде пузырьков, остальные 5—10% кислорода вы-

деляются путем диффузии. Выделение пузырьков происходит сравнительно быстро. Диффузионный процесс протекает медленно. Выделение кислорода и других газов из воды в деаэраторе происходит на всем пути движения воды.

Поступление воды в вакуумный деаэратор сопровождается резким падением общего и парциального давле-

ний газов. Вода становится пресыщенным газовым раствором. В этот начальный период проис-

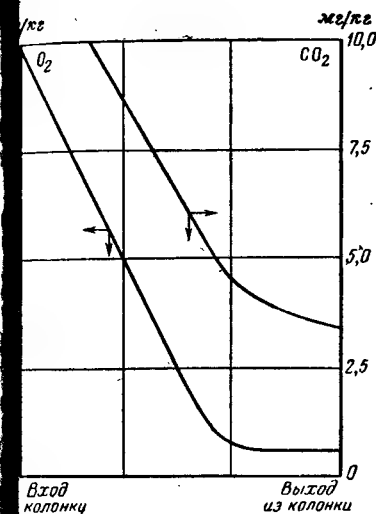


Рис. 6. Изменения содержания кислорода и углекислого газа в воде в вакуумной деаэрационной колонке. Подача в колонку холодной воды.

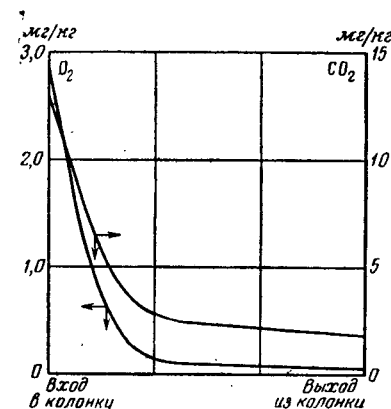


Рис. 7. Изменения содержания кислорода и углекислого газа в воде в вакуумной деаэрационной колонке. Подача в колонку перегретой воды.

ходит энергичное выделение пузырьков газов из воды. Особенно бурно идет выделение газов при поступлении в деаэратор перегретой воды. Далее при движении воды в деаэраторе пересыщение значительно уменьшается, выделение газов замедляется и идет в основном путем диффузии.

Изменение содержания кислорода и углекислого газа в воде в вакуумном деаэраторе, полученное из опытов на полупромышленной вакуумной деаэрационной установке Макеевского металлургического завода, показано на рис. 6 и 7. Как видим, на входе воды в вакуумный деаэратор концентрация этих газов в воде падает быстро, затем по мере движения воды в деаэрато-

альных давлениях над водой, равных нулю. Для этого требуется довести воду до температуры кипения, соответствующей давлению в деаэраторе, и быстро отводить выделяющиеся газы. В действительности в деаэраторах (за исключением деаэраторов перегретой воды) вода доводится до температуры несколько ниже температуры кипения. Поэтому полное удаление газов из воды не достигается.

Однако задача деаэрации воды заключается не только в достижении соответствующих температуры и давления, указываемых законом Генри, при которых растворимость газов в воде падает до нуля. Закон Генри — это идеализированное выражение статики процесса деаэрации, т. е. такого равновесного состояния, к которому процесс стремится, в действительности не достигая его.

Чтобы выделение из воды газов и отвод их из деаэратора шли достаточно быстро и была достигнута глубокая дегазация, требуются соответствующие условия. Для выяснения этих условий познакомимся подробнее с ходом процесса дегазации воды.

В вакуумном деаэраторе большая часть газов выделяется из воды в виде пузырьков, которые выходят на поверхность воды. Меньшая, остаточная часть газов выделяется путем диффузии. Диффузия есть перенос в жидкости растворенного вещества по направлению от большей концентрации к меньшей. Диффузия газа идет от внутренних слоев воды, где концентрация растворенных газов больше, к наружным, где концентрация меньше. Затем газы через поверхностную пленку переходят в пар. Скорость диффузии зависит от физических параметров воды: вязкости и поверхностного натяжения, и от степени дробления воды. С уменьшением вязкости и поверхностного натяжения, и особенно с увеличением степени дробления воды скорость диффузии увеличивается. Вязкость и поверхностное натяжение, замедляющие диффузию, с повышением температуры уменьшаются. Поэтому при высокой температуре диффузионный процесс протекает быстрее.

Дробление воды уменьшает путь прохождения газа в воде и ускоряет его выход из нее благодаря увеличению поверхности контакта воды с паром.

В деаэраторе 90—95% кислорода выделяются из воды в виде пузырьков, остальные 5—10% кислорода вы-

деляются путем диффузии. Выделение пузырьков происходит сравнительно быстро. Диффузионный процесс протекает медленно. Выделение кислорода и других газов из воды в деаэраторе происходит на всем пути движения воды.

Поступление воды в вакуумный деаэратор сопровождается резким падением общего и парциального давле-

ний газов. Вода становится пересыщенным газовым раствором. В этот начальный период проис-

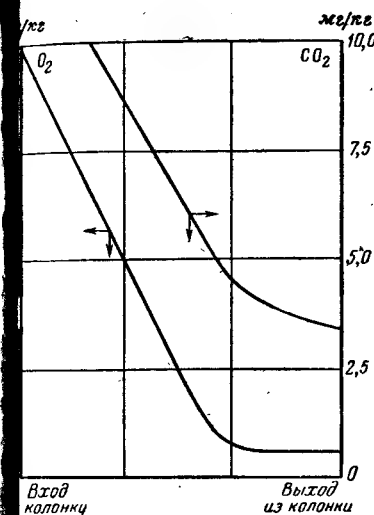


Рис. 6. Изменения содержания кислорода и углекислого газа в воде в вакуумной деаэрационной колонке. Подача в колонку холодной воды.

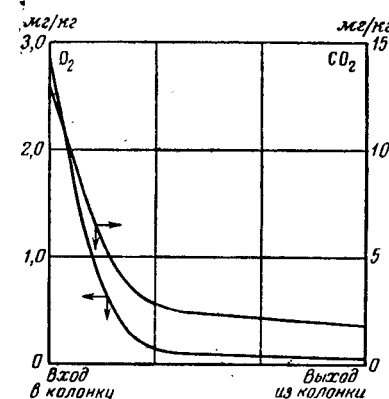


Рис. 7. Изменения содержания кислорода и углекислого газа в воде в вакуумной деаэрационной колонке. Подача в колонку перегретой воды.

ходит энергичное выделение пузырьков газов из воды. Особенно бурно идет выделение газов при поступлении в деаэратор перегретой воды. Далее при движении воды в деаэраторе пересыщение значительно уменьшается, выделение газов замедляется и идет в основном путем диффузии.

Изменение содержания кислорода и углекислого газа в воде в вакуумном деаэраторе, полученное из опытов на полупромышленной вакуумной деаэрационной установке Макеевского металлургического завода, показано на рис. 6 и 7. Как видим, на входе воды в вакуумный деаэратор концентрация этих газов в воде падает быстро, затем по мере движения воды в деаэрато-

ре их концентрация медленно снижается. Такой характер изменения концентрации газов определяется изменением движущей силы процесса дегазации воды.

Рассмотрим этот вопрос. Мы знаем, что изменения температуры воды и парциальных давлений газов в парогазовой смеси над водой или изменение одного из этих параметров влекут за собой изменение концентрации растворенных газов в воде. В результате нагрева или снижения давления концентрация газа в воде уменьшается. Движущей силой процесса выделения газа из воды является разность между фактической концентрацией газа в воде C_1 и той его концентрацией C_p , которая должна соответствовать температуре воды и парциальному давлению газа над водой в данный момент времени в определенном месте деаэратора:

$$\Delta C = C_1 - C_p.$$

Чем больше ΔC , тем интенсивнее, быстрее протекает процесс дегазации. ΔC на определенном участке движения воды, например в ступени деаэратора, рассчитывается по формуле среднелогарифмической разности:

$$\Delta C = \frac{C_1 - C_2}{2.3 \lg \frac{C_1}{C_2}},$$

где C_1 и C_2 — концентрации газа в воде, соответственно на входе в ступень и выходе из нее.

ΔC меняется по высоте деаэраторной колонки. В верхней части колонки ΔC имеет наибольшее значение, в нижней — наименьшее. Этим объясняется характер изменения концентрации кислорода и свободной углекислоты в воде по высоте колонки (рис. 6 и 7).

Приведенные графики показывают также, что свободная углекислота удаляется значительно медленнее кислорода.

Отметим, что углекислота содержится в воде в виде Na_2CO_3 и NaHCO_3 . Разложение этих соединений с выделением связанной углекислоты начинается лишь после удаления свободной углекислоты, причем для полного их разложения требуется значительное время и высокая температура. Поэтому в деаэраторах этот процесс как правило, может лишь начаться.

Газы, выделяющиеся из воды, должны быть полностью и быстро отведены из деаэратора. В вакуумном деаэраторе это зависит как от работы газоотсасывающего

устройства и охладителя выпара, так и от наличия достаточного количества пара, вентилирующего колонку.

Большая часть пара (70—90%), поступающего в вакуумный деаэратор, расходуется на нагрев воды и конденсируется. Конденсат пара смешивается с основным потоком воды. Остальная часть пара проходит через

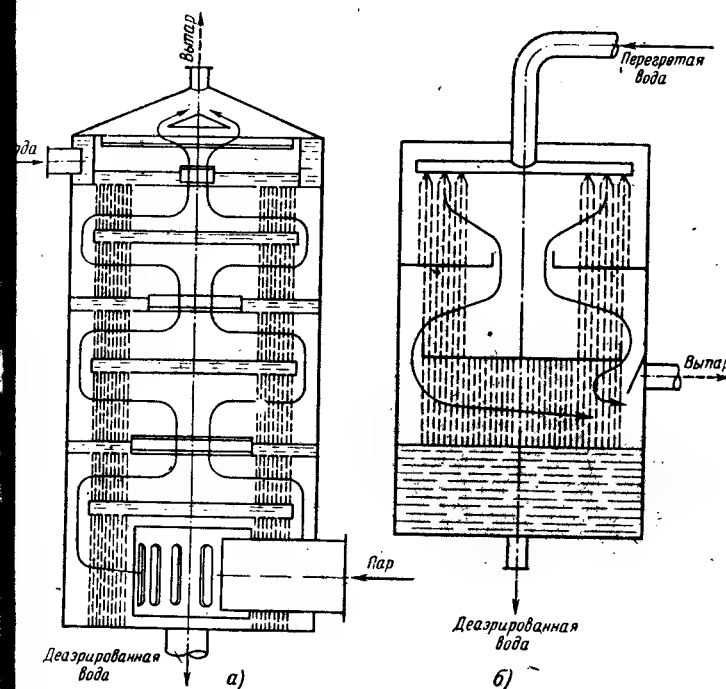


рис. 8. Схемы движений воды и парогазовой смеси в деаэраторных колонках.

а — с подачей пара в колонку; б — в деаэраторной колонке перегретой воды.

ую колонку. Этот пар вентилирует колонку и сдувает с поверхности воды выделяющиеся газы. Парогазовая смесь — газы в смеси с избыточным паром — выпаром отсасывается из деаэратора. Схема движения воды и парогазовой смеси в деаэраторной колонке с подачей пара в нее показана на рис. 8, а. Так как пар конденсируется на всех ступенях деаэраторной колонки, то количество пара, вентилирующего колонку, меняется по ее высоте: через нижние ступени колонки проходит большая часть пара, через верхние — меньшая.

При малом нагреве воды и малом выпаре вентиляция колонки вялая, особенно в верхней ее части, что замедляет отвод газов.

В деаэраторе перегретой воды выпар получается при вскипании воды, причем количество выпара определяется величиной перегрева воды. Количество пара, вентилярующего ступени деаэрационной колонки, в деаэраторе перегретой воды меньше, чем в деаэрационной колонке с подачей пара в нее.

На интенсивность процесса деаэрации влияют также следующие факторы:

✓ 1. Турбулизация, т. е. завихрение воды при ее движении. Турбулизация приводит к нарушению поверхностного натяжения воды. При этом разрывается поверхностная пленка и облегчается выход газов из воды. Благодаря турбулентному движению происходит перемешивание частиц воды и непрерывное обновление поверхности соприкосновения воды с паром. Это ускоряет выход газа из воды и переход его в пар. Турбулизация движения воды создается потоком пара, пересекающим струи воды.

2. Схема движения воды и пара. При противоточно-перекрестной схеме движения воды и пара (рис. 8,а), по которой, как правило, работают деаэраторы с подачей пара в них, вода на выходе из деаэратора омывается паром, содержащим наименьшее количество газов.

При прямоточно-перекрестной схеме движения воды и пара (рис. 8,б), по которой работают существующие деаэраторы перегретой воды, вода на выходе из деаэратора омывается паром, содержащим газы, выделившиеся при деаэрации.

Противоточно-перекрестная схема движений воды и пара обеспечивает наиболее глубокую деаэрацию воды.

3. Время пребывания воды в деаэраторе. Мы уже знаем, что процесс деаэрации воды по мере движения ее через деаэратор постепенно замедляется вследствие понижения движущей силы процесса, поэтому удаление остаточного кислорода в значительной мере зависит от времени пребывания воды в деаэраторе. С увеличением продолжительности процесса увеличивается глубина деаэрации. Увеличение времени пребывания воды в деаэраторе достигается устройством ступеней — каскадов в виде полок или тарелок.

Наконец отметим, что греющий пар не должен содержать газов, особенно кислорода. Газы, содержащиеся в паре, ухудшают работу деаэратора также и потому, что замедляют передачу тепла от пара к воде.

Изложенное позволяет сформулировать условия, необходимые для интенсивного протекания процесса деаэрации и глубокого обескислороживания воды в вакуумных деаэраторах:

1. Создание вакуума, соответствующего заданной температуре деаэрированной воды.

2. Поступление необходимого количества пара, обеспечивающего быстрый нагрев воды в деаэраторе, до температуры близкой к температуре кипения, и получение достаточного количества выпара.

3. Соответствующая температура поступающей воды в деаэраторах перегретой воды, необходимая для интенсивного вскипания воды в них.

4. По возможности тонкое дробление воды, достигаемое разделением потока воды на тонкие струи, пленки и капли.

5. Противоточно-перекрестное движение воды и пара.

6. Турбулизация воды, создаваемая путем пересечения водяных струй паровым потоком.

7. Достаточно продолжительное время пребывания воды в деаэраторе, обеспечиваемое соответствующим числом ступеней-каскадов.

8. Полный и быстрый отвод газов, выделившихся из воды, что обеспечивается необходимым количеством выпара, достаточной производительностью газоотсасывающих устройств и охладителя выпара и соответствующим количеством и температурой охлаждающей воды, поступающей в охладитель выпара.

9. Греющий пар не должен содержать кислорода и других газов.

10. Воздушная плотность всей системы деаэрационной установки, работающей под вакуумом.

ГЛАВА ВТОРАЯ

КОНСТРУКЦИИ И РАСЧЕТ ВАКУУМНЫХ ДЕАЭРАТОРОВ

2-1. КОНСТРУКЦИИ КОЛОНК ВАКУУМНЫХ ДЕАЭРАТОРОВ

В деаэрационной установке собственно деаэратором является аппарат, который носит название деаэрационной колонки.

Оборудование вакуумной деаэрационной установки, кроме колонки, состоит из бака-аккумулятора, охлаждающего выпара, газоотсасывающего аппарата и откачивающего водяного насоса. В ряде случаев вакуумная деаэрационная установка оборудуется питательным баком — подогревателем поступающей воды или поверхностным подогревателем. Аппараты установки соединяются соответствующими трубопроводами.

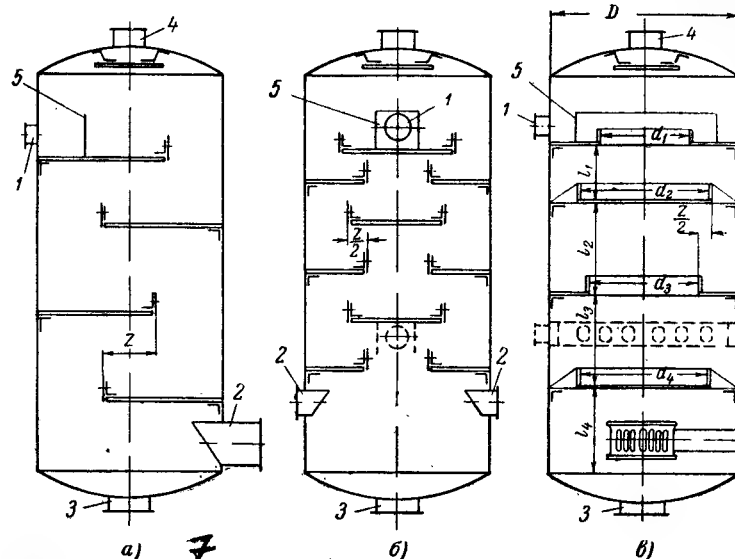


Рис. 9. Деаэрационные колонки струйного типа.
а — с сегментными полками; б — с симметрично-сегментными полками;
в — с круглыми и кольцевыми тарелками.

Для деаэрации воды при вакууме могут применяться деаэрационные колонки обычных конструкций атмосферного типа, однако они должны быть рассчитаны для условий деаэрации воды при вакууме.

На рис. 9 показаны струйные деаэрационные колонки. Они работают по противоточно-перекрестной схеме движения воды и пара. Вода в колонку поступает по трубопроводу 1 через гидрозатвор 5 на верхнюю полку. Если осуществляется деаэрация сырой воды, дающей осадки, применяются бездырчатые полки. Вода переливается с полки на полку через борты каскадами плоских (рис. 9,а и 9,б) либо цилиндрических (рис. 9,в) струй.

Горизонтальные сечения для прохода пара в местах установки полок выполняются по высоте колонок равными, лишь верхняя полка делается шире остальных.

Пар в колонку подводится под нижнюю полку по паропроводу 2 и затем движется вверх по колонке, пересекая водяные струи. Пунктиром на рис. 9,б и 9,в показаны подводы пара в колонку в случаях, если нижние полки соответствуют конструкциям полок ступенью выше. Вода из колонки отводится по трубе 3. По трубе 4 отводится выпар.

Для деаэрации химочищенной воды применяют деаэрационные колонки с дырчатыми полками. Вода сливается круглыми, линейными струями. В этом случае на участках полок, перекрывающих друг друга, сверлятся отверстия диаметром 6—8 мм и шагом 15—25 мм. Размеры z и $z/2$ должны обеспечивать расположение необходимого числа отверстий для пропуска через них всего потока воды без перелива ее через борты.

Поверхность контакта воды и пара в линейно-струйных деаэраторах значительно больше, чем в плоскоструйных деаэраторах.

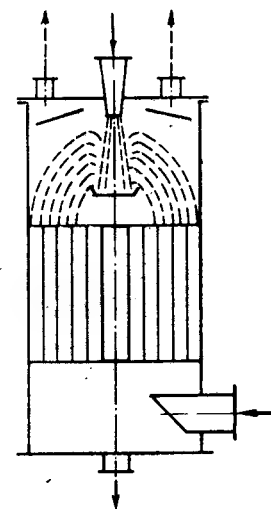


Рис. 10. Пленочный деаэратор.

На рис. 10 показан одноступенчатый пленочный деаэратор ОРГРЭС. Деаэрируемая вода подается через сопло, ударяется о розетку, разбрызгивается и стекает вниз пленками по вертикальным концентрическим тонким стальным листам. Пар поступает снизу навстречу воде по кольцевым отсекам, образованным листами.

Пленочные деаэраторы компактны, просты, нечувствительны к отложениям накипи и шлама. Их существенный недостаток — неравномерное распределение воды по сечению аппарата.

На рис. 11 показана деаэрационная колонка с неупорядоченной насадкой, испытанная ВТИ.

Элементы неупорядоченной насадки изготавливаются из нержавеющей стали, алюминия, латуни или оцинкованной.

ванной стали. Если в воде нет свободной углекислоты, может применяться углеродистая сталь, которая покрывается прочной защитной пленкой окислов железа. Не пригодна насадка из керамики и стекла вследствие обгаживания воды кремниевой кислотой и разрушения насадки в процессе эксплуатации.

Для вакуумных деаэраторов необходимо применять насадку с высоким значением свободного объема, так

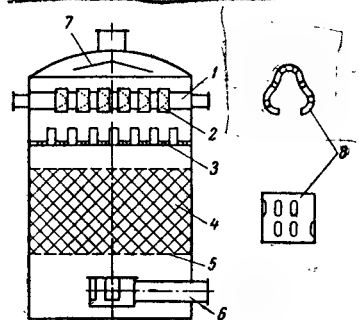


Рис. 11. Деаэрационная колонка с неупорядоченной насадкой.

1 — водяная камера; 2 — патрубки для ввода воды и выхода пара; 3 — дырчатая тарелка с патрубками для прохода пара; 4 — неупорядоченная насадка; 5 — решетка; 6 — подача пара; 7 — отбойный щиток; 8 — дырчатый омегаобразный элемент.

как в них имеют место высокие скорости парового потока вследствие больших удельных объемов пара. Наиболее подходит для вакуумных деаэраторов насадка из омегаобразных элементов с отверстиями, показанная на рис. 11. Следует, однако отметить, что пока еще нет достаточного опыта промышленной эксплуатации насадочных деаэраторов, работающих в условиях вакуума.

На рис. 12 представлен деаэратор с барботажным устройством в нижней части колонки. На рис. 12, а — колонка с беспровальной барботажной тарелкой 1. В

да падает струями из дырчатых тарелок 6 на барботажную тарелку 1 у ее периферии и затем движется к центру тарелки, где сливается через переливную трубу в бак-аккумулятор. Под барботажную тарелку подается пар по трубе 2. Проходя через отверстия тарелки, пар барботирует сквозь воду. Из паровой камеры 4 вода вытесняется по трубке 5.

На рис. 12, б показано устройство с двумя провальными барботажными тарелками конструкции ВТИ. Вода сливается струями из дырчатых тарелок 6 на верхнюю барботажную тарелку, проходит через ее отверстия, затем вытекает через отверстия нижней барботажной тарелки и сливается в бак-аккумулятор. Пар подается в кольцевую камеру 4, из нее поступает под нижнюю барботажную тарелку, проходит через ее отверстия, бар-

ботируя при этом воду, и, наконец, барботирует воду на верхней тарелке. Отверстия барботажных тарелок пропускают попеременно пар либо воду. Наши опыты на полупромышленной установке показали, что в вакуумных деаэраторах, где имеют место большие удельные объемы пара, гидравлическое сопротивление при прохождении пара через слой воды велико. Исходя из этого, барботажное устройство, показанное на рис. 12, а, предпочти-

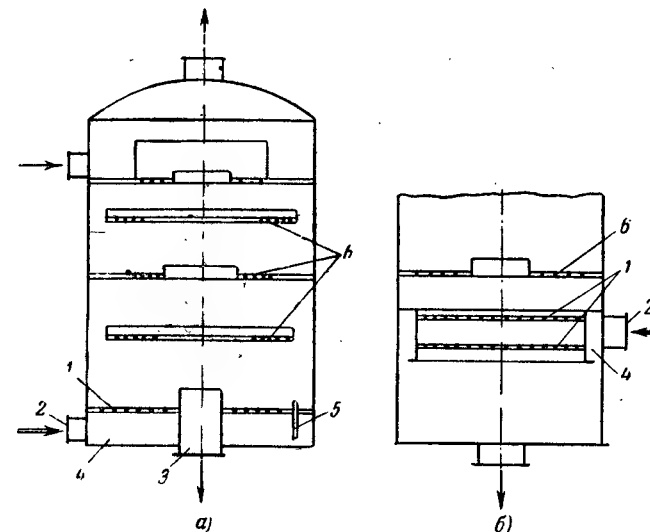


Рис. 12. Деаэраторы с барботажными тарелками.

1 — барботажные тарелки; 2 — подвод пара; 3 — переливная труба; 4 — паровая камера; 5 — вытеснительная трубка; 6 — дырчатые тарелки.

тельнее для вакуумных деаэраторов. Оно обладает меньшим сопротивлением, чем барботажное устройство, показанное на рис. 12, б.

Хорошее качество деаэрации воды в вакууме с применением барботажа показала эксплуатация вакуумных деаэраторов, сооруженных по схемам ЦКТИ на ряде ленинградских предприятий.

Испытания барботажных устройств различных видов на Макеевской полупромышленной установке также показали высокую эффективность дегазации воды в вакууме под действием барботажа. В вакуумной деаэрационной колонке, имеющей в нижней части барботажное устройство, может быть сокращено количество выпара

без ухудшения качества дегазации по сравнению с чисто струйной деаэрационной колонкой.

ЦКТИ разработал конструкцию вакуумного деаэраатора перегретой воды (рис. 13). Отличительной особенностью этого деаэраатора является встроенный охладитель

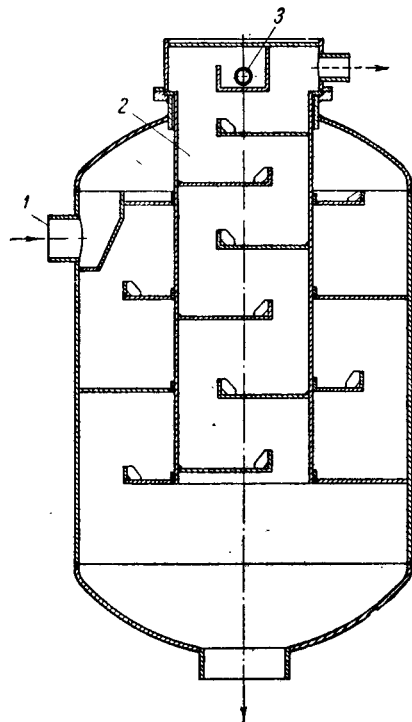


Рис. 13. Вакуумный деаэраатор перегретой воды конструкции ЦКТИ.

ть выпара, выполненный в виде центральной трубы с дырчатыми полками. Основной поток воды, подогретый до заданной температуры в поверхностном подогревателе, поступает по трубопроводу 1 в деаэраатор на верхнюю полку. В деаэрааторе вода вскипает, при этом из нее выделяются газы. Поток воды движется круглыми струями через отверстия с полки на полку вниз деаэраатора. Образовавшийся при вскипании воды выпар и выделившиеся газы движутся также вниз, пересекая струи воды.

В колонку 2 «холодного» потока, выполняющую функцию охладителя выпара, по трубопроводу 3 подается неподогретая часть воды, подлежащей деаэрации. Эта вода также движется струями с полки на полку вниз охладителя выпара. Нижняя часть охладителя выпара соединена с деаэраатором. Выпар из деаэраатора поступает в охладитель выпара, где конденсируется холодным потоком воды. Остаточная парогазовая смесь удаляется из верха охладителя газоотсасывающим аппаратом.

Охладитель выпара в данной конструкции может быть расположен также и вне деаэраатора. В этом случае

охладитель и деаэраатор соединяются между собой внизу трубопроводом большого сечения. По этому трубопроводу выпар из деаэраатора поступает в охладитель выпара, а вода в смеси с конденсатом выпара поступает из охладителя в деаэраатор, где смешивается с основным потоком деаэрированной воды.

Недостатком деаэраатора ЦКТИ является сравнительно невысокое качество деаэрированной воды, что объясняется прямотоком воды и пара, а также слабой деаэрацией в охладителе выпара. Это показало испытание вакуумного деаэраатора ЦКТИ на Лисичанской ТЭЦ.

Следует отметить, что содержание кислорода в воде из смешивающих вакуумных охладителей выпара по данным промышленных испытаний составляет 0,4—0,8 мг/кг. Чем большая доля воды поступает в охладитель, тем больше содержание кислорода в деаэрированной воде — смеси воды из деаэраатора и охладителя.

Если в деаэрааторе ЦКТИ, углубляя вакуум, перевести режим охладителя выпара из конденсационного, при котором выпар конденсируется на нижних двух-трех ступенях, в деаэрационный, при котором массовая конденсация выпара идет на верхних ступенях, то из охладителя будет идти избыток выпара. Это потребует установки дополнительного охладителя выпара перед газоотсасывающим аппаратом, т. е. приведет к обычной схеме вакуумной деаэрационной установки.

Для деаэрации воды в вакууме могут быть применены также бесколонковые деаэраторы, в которых осуществляется распыл воды над уровнем ее в баке-аккумуляторе и барботаж воды паром (рис. 14). Удаление газов в них происходит в струях воды под действием вакуума и нагрева и при многократном барботаже воды в последовательно включенных полужамкнутых циркуляционных контурах внутри бака-аккумулятора (схема Уралэнергометаллургии). Следует отметить, что на барботаж необходимо подавать пар более высокого давления, чем в струйные деаэраторы.

Деаэрацию перегретой воды в вакууме целесообразно осуществлять путем срабатывания перегрева воды по частям. Опыты на полупромышленной установке Малокеевского металлургического завода показали, что при этом качество деаэрации выше по сравнению с однократным срабатыванием перегрева при одной и той же суммарной величине перегрева воды.

Если в воде содержится сравнительно небольшое количество растворенных газов, для глубокой деаэрации достаточно двукратное срабатывание перегрева. В случае больших содержаний газов в деаэрируемой воде следует применять деаэраторы с трехкратным срабатыванием перегрева воды.

На рис. 15 показана схема предлагаемой вакуумной деаэраторной колонки с двукратным срабатыванием перегрева.

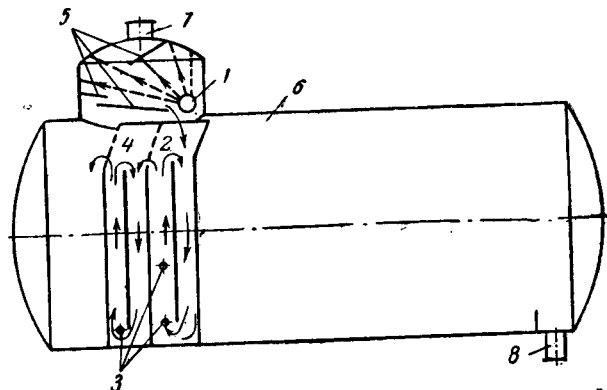


Рис. 14. Бесколонковый вакуумный барботажный деаэратор.

1 — распределительная дырчатая труба; 2 — первый барботажный отсек; 3 — барботеры; 4 — второй барботажный отсек; 5 — отбойные и направляющие щитки; 6 — аккумулятор; 7 — отвод выпара; 8 — отвод деаэрированной воды.

Перегретая вода поступает в деаэратор по трубопроводу 1. Поднимаясь в кольцевом гидрозатворе 2, вода вскипает, затем проходит две дырчатые тарелки 7 и 8. Проходя этот гидрозатвор, вода также вскипает, а затем поступает на дырчатую тарелку 9, с которой струями сливается в нижнюю часть колонки либо в бак-аккумулятор. Вода из колонки отводится по трубопроводу 4. Выпар из первой ступени вскипания отводится в охлаждающий выпар по трубопроводу 5, из второй ступени — по трубопроводу 6. Движение воды и выпара показано стрелками.

Существует также ряд других конструкций деаэраторов: с распылом воды форсунками, дырчатыми трубами, с тарелками и насадками других типов, с различными схемами движений воды и пара. Встречаются деаэраторы

ры необоснованно сложных конструкций; эксплуатация и ремонт их затруднены, в то же время качество деаэрации в них не выше, чем в деаэраторах более простых конструкций.

Изучение процесса вакуумной деаэрации в деаэраторах различных конструкций с подачей пара в них позволяет сделать следующие выводы. В аппаратах чисто струйного типа глубокую деаэрацию воды в вакууме осуществить трудно. Поэтому возникает необходимость во второй ступени дегазации. При этом задачей первой — струйной ступени является подогрев и предварительная дегазация воды, задачей второй ступени — окончательная, глубокая дегазация воды.

В качестве второй ступени наиболее просто и эффективно применить ступень, в которой осуществляется вскипание перегретой воды. Перегрев воды, поступающей из первой ступени во вторую, возникает вследствие понижения давления. Обе ступени имеют

отдельные отводы выпара в общий охладитель выпара.

Второй стадией дегазации может явиться также барботаж воды паром, осуществляемый в нижней части колонки либо в бак-аккумуляторе.

При последовательном использовании в деаэраторе всех трех способов дегазации — распределения струй воды в паре, барботажки воды паром и вскипания перегретой воды достигается наиболее глубокая и устойчивая дегазация.

Как уже отмечалось выше, в настоящее время отсутствуют апробированные типовые конструкции вакуумных деаэраторов. На некоторых тепловых электростанциях, промышленных и отопительных котельных работают вакуумные деаэраторы различных конструкций.

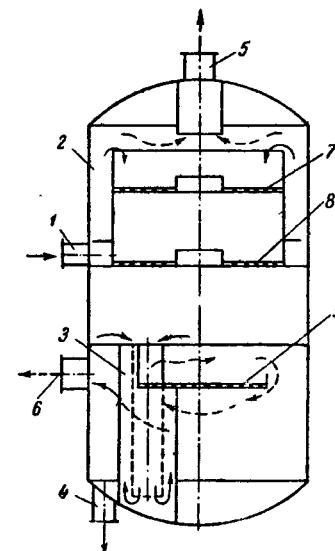


Рис. 15. Вакуумный деаэратор перегретой воды с двухступенчатым срабатыванием перегрева.

Авторы данной работы, опираясь на свой опыт исследования вакуумной деаэрации воды на полупромышленной установке Макеевского металлургического завода и на промышленном деаэраторе Лисичанской ТЭЦ, а также учитывая исследования и опыт эксплуатации вакуумных деаэраторов на других предприятиях, рекомендуют:

1. Для вакуумной деаэрации воды, не дающей осадков и накипи (конденсат, химочищенная и т. п. вода) подходит конструкция деаэраторной колонки с круглыми и кольцевыми дырчатыми тарелками (рис. 9, а), соединенной через гидрозатвор с баком-аккумулятором (рис. 21) либо с нижней частью колонки (рис. 15).

Может быть применена также конструкция деаэратора с барботажной тарелкой (рис. 12, а).

2. Для вакуумной деаэрации воды, дающей осадки и накипь, подходит деаэраторная колонка со сплошными симметричными сегментными полками (рис. 9, б), соединенная через гидрозатвор с баком либо с нижней частью колонки.

3. Для деаэрации перегретой воды применим деаэратор типа рис. 15. При пониженном требовании к качеству деаэрированной воды возможно применение вакуумного деаэратора конструкции ЦКТИ (рис. 13).

2.2. ОСНОВЫ РАСЧЕТА ВАКУУМНОЙ ДЕАЭРАТОРНОЙ КОЛОНКИ

Расчет процесса деаэрации как процесса массопередачи и нахождение на основе его размеров деаэраторной колонки следовало бы выполнять по уравнению массопередачи

$$G = K \Delta C F,$$

где G — количество газа, удаляемого в деаэраторе;

K — коэффициент массопередачи;

F — поверхность контакта воды и пара.

Нахождение действительной поверхности контакта представляет трудности. Надежных данных для определения коэффициента массопередачи K в настоящее время не имеется. Поэтому расчет деаэратора с помощью уравнения не производится на основе уравнений массопередачи, поскольку параметры теплового процесса легче определить. В тепловой расчет закладывают условия работы деаэраторной колонки, обеспечивающие полную деаэрацию воды в вакууме. Такими условиями

являются: выпар не менее 10 кг/т и недогрев воды не более 0,2° С.

На основании теплового расчета — расчета нагрева струй определяются число ступеней деаэраторной колонки и их высоты. Диаметр колонки и размеры поперечных сечений для прохода пара определяются на основе гидродинамического расчета.

Для расчета нагрева воды в свободно падающих круглых струях, омываемых движущимся паром, авторами на основе теоретического анализа получена формула:

$$\lg \frac{t_n - t_1}{t_n - t_2} = \psi \frac{\sqrt[4]{(\mu^2 h + l)^3} - \sqrt[4]{(\mu^2 h)^3}}{d_0 \sqrt[4]{\mu} \sqrt[4]{h}}, \quad (4)$$

где t_n — температура пара, набегающего на водяную струю, °С;

t_1 — температура воды на входе в струю, °С;

t_2 — температура воды на выходе из струи, °С;

d_0 — начальный диаметр струи, м;

μ — коэффициент расхода; для дырчатых тарелок — $\mu = 0,72$;

l — высота струи, м;

h — высота слоя воды на тарелке, м;

ψ — опытный коэффициент, зависящий от параметров парового потока.

Коэффициент ψ вычисляется по приближенной эмпирической формуле, аппроксимирующей опытную кривую и дающей некоторый запас по нагреву круглых струй воды конденсирующимся паром в вакууме.

При $\omega_{\pi}^2 \rho'' \geq 0,3$:

$$\psi = 0,003 (\omega_{\pi}^2 \rho'')^{0,3}, \quad (5)$$

где ω_{π} — скорость пара, набегающего на водяную струю, м/сек;

ρ'' — плотность пара, кг/м³.

Для ускорения расчетов нагрева круглых струй можно пользоваться номограммой (приложение II), составленной по формуле (4).

Для расчета нагрева воды в свободно падающих плоских и цилиндрических струях получена формула:

$$\lg \frac{t_n - t_1}{t_n - t_2} = \frac{\pi l}{\delta_0 \omega_0}, \quad (6)$$

где φ — опытный коэффициент, зависящий от параметров парового потока;

l — высота струи, м;

δ_0 — начальная толщина струи, м;

ω_0 — начальная скорость падения струи воды, м/сек

Значения φ вычисляются по приближенной эмпирической формуле, аппроксимирующей опытную кривую, дающей некоторый запас по нагреву плоских и цилиндрических струй воды конденсирующимся паром в вакууме. При $\omega_n^2 \rho'' \geq 0,3$:

$$\varphi = 0,007 (\omega_n^2 \rho'')^{0,2}, \quad (7)$$

где ω_n — скорость пара, набегающего на водяную струю, м/сек;

ρ'' — плотность пара, кг/м³.

Для ускорения расчетов нагрева плоских и цилиндрических струй можно пользоваться номограммой (приложение III), составленной по формуле (6). Формулы (4) и (6) являются приближенными, однако для практических расчетов они достаточно точны.

Для гидродинамического расчета вакуумных деаэраторов получена формула:

$$G_n^{2/3} = AS \sqrt[3]{\frac{\rho''}{G_v}}, \quad (8)$$

G_n — расход пара, т/ч.

A — коэффициент, имеющий в диапазоне вакуума 500—700 мм рт. ст. значения: 54 — при расходе воды круглыми струями; 43 — при расходе воды плоскими и цилиндрическими струями;

S — сечение для прохода пара, м²;

G_v — расход воды, т/ч.

По этим формулам производится конструкторский расчет вакуумного деаэратора с нагревом воды в нем, рассматриваются диаметр и высота колонки, число и размеры ступеней. В проверочном расчете с помощью тех же формул по размерам и заданным параметрам определяется производительность деаэратора.

Деаэраторы перегретой воды рассчитываются с помощью графика (приложение IV), полученного на основе опытов. По этим данным определяется гидравлическая нагрузка полного горизонтального сечения колонки

g_v в зависимости от давления в колонке $P_{абс}$ и величины перегрева поступающей воды Δt . При $P_{абс}$ в пределах 0,08—0,25 бар и Δt от 4 до 12°С гидравлическая нагрузка колонки находится в пределах 30—100 т/м²·ч

2-3. ПРИМЕР РАСЧЕТА

Произвести поверочный расчет колонки вакуумного деаэратора с круглыми и кольцевыми дырчатыми тарелками (рис. 9,а) по следующим данным.

Размеры колонки деаэратора (в метрах): внутренний диаметр $D = 1,8$; диаметр круглых тарелок $d_2 = d_4 = 1,4$; внутренний диаметр кольцевых тарелок: $d_1 = 0,8$; $d_3 = 1,1$; сливные отверстия в тарелках $d_0 = 0,008$; число отверстий в каждой тарелке $n = 1500$; число ступеней — 4; высоты ступеней: $l_1 = 0,40$; $l_2 = l_3 = l_4 = 0,50$; высота бортов на всех тарелках $h_0 = 0,045$.

Температура поступающей воды $t_v = 15^\circ\text{C}$. Требуемая температура деаэрированной воды $t_d = 60^\circ\text{C}$. В деаэратор поступает сухой насыщенный пар.

Задачей поверочного расчета деаэратора являются: определение производительности — расхода деаэрированной воды G_d , т/ч, расхода пара G_n , т/ч, и нагревов воды по ступеням, обеспечивающих получение деаэрированной воды с содержанием кислорода не более 0,05 мг/кг.

Расчет. В согласии с опытными данными получение деаэрированной воды с содержанием $O_2 \leq 0,05$ мг/кг требует расхода выпара 10—12 кг на одну тонну поступающей воды и недогрева воды до температуры кипения на выходе из колонки $\Delta t \leq 0,2^\circ\text{C}$ при наличии бака-аккумулятора с вскипанием воды в нем.

Примем для расчета расход выпара $G_{вып} = 0,012 G_v$, где G_v — расход поступающей воды и недогрев воды $\Delta t = 0,2^\circ\text{C}$. Температура пара на четвертой (нижней) ступени:

$$t_{п(IV)} = t_d + \Delta t = 60 + 0,2 = 60,2^\circ\text{C}.$$

По таблицам насыщенного пара энтальпия $i_{п(IV)} = 2610$ кДж/кг (623,3 ккал/кг), плотность пара $\rho''_{п(IV)} = 0,132$ кг/м³. Расход пара на деаэратор G_n находим из уравнения теплового баланса деаэратора:

$$G_n = \frac{G_v c (t_d - t_v) + G_{вып} (i_{вып} - c t_d)}{i_{п(IV)} - c t_d},$$

где c — теплоемкость воды;

$$c = 4,19 \text{ кДж/кг} \cdot \text{град}.$$

Согласно опытным данным, падение температуры пара по высоте деаэратора составляет в среднем один градус на ступень. Тогда параметры выпара $t_{вып} = t_{п(IV)} - 4 = 60,2 - 4 = 56,2^\circ\text{C}$. По таблицам насыщенного пара $i_{вып} = 2603$ кДж/кг:

$$G_n = \frac{G_v \cdot 4,19 (60 - 15) + 0,012 G_v (2603 - 4,19 \cdot 60)}{2610 - 4,19 \cdot 60},$$

откуда $G_n = 0,092 G_v$.

Расход деаэрированной воды:

$$G_d = G_v + G_n - G_{vnp} = G_v + 0,092G_v - 0,012G_v = 1,08G_v.$$

Производительность вакуумного деаэратора определяется по формуле (8):

$$G_{n(\tau)}^{2/3} = 54S \sqrt[3]{\frac{p''}{G_{v(\tau)}}},$$

где $G_{n(\tau)}$ — расход пара через горизонтальное кольцевое сечение в плоскости нижней тарелки.

Согласно опытным данным, почти весь нагрев воды происходит на верхних ступенях. На нижней ступени конденсируется 1—3% пара; если примем 2%, тогда $G_{n(\tau)} = 0,98G_n$; S — сечение для расхода пара в количестве $G_{n(\tau)}$;

$$S = \frac{\pi}{4} (D^2 - d_1^2) = \frac{3,14}{4} (1,8^2 - 1,4^2) = 1,01 \text{ м}^2;$$

$G_{v(\tau)}$ — расход воды на нижней ступени. $G_{v(\tau)} \approx G_d$

$$(0,98 \cdot 0,092G_v)^{2/3} = 54 \cdot 1,01 \sqrt[3]{\frac{0,132}{1,08 \cdot G_v}},$$

откуда $G_v = 135 \text{ т/ч}$.

Производительность деаэратора (расход деаэрированной воды)

$$G_d = 1,08G_v = 1,08 \cdot 135 = 146 \text{ т/ч}.$$

Расход пара на деаэратор

$$G_n = 0,092G_v = 0,092 \cdot 135 = 12,4 \text{ т/ч},$$

в том числе расход выпара

$$G_{vnp} = 0,012G_v = 0,012 \cdot 135 = 1,63 \text{ т/ч}.$$

Расчет нагрева воды по ступеням колонки

Нагрев воды в падающих линейных круглых струях рассчитывается по формуле (4) или с помощью номограммы (приложение II), что проще.

Для расчета температуры воды t_2 на выходе из ступени необходимо вычислить высоту h слоя воды на тарелке. Высота h вычисляется по формуле истечения воды из отверстий

$$w_0 = \mu \sqrt{2gh},$$

где w_0 — начальная скорость истечения, м/сек;

μ — коэффициент расхода, $\mu = 0,72$;

g — ускорение силы тяжести, $g = 9,81 \text{ м/сек}^2$.

w_0 вычисляем из уравнения расхода воды.

$$\frac{G_v}{3600} = n \frac{\pi d_0^2}{4} w_0,$$

откуда

$$w_0 = \frac{4G_v}{3600\pi d_0^2 n}, \text{ м/сек}.$$

Для первой (верхней) ступени

$$w_0 = \frac{4 \cdot 135}{3600 \cdot 3,14 \cdot 0,008^2 \cdot 1500} = 0,50 \text{ м/сек};$$

$$0,50 = 0,72 \sqrt{2 \cdot 9,81 h},$$

откуда $h = 0,025 \text{ м}$.

Для четвертой (нижней) ступени

$$w_0 = \frac{4 \cdot 146}{3600 \cdot 3,14 \cdot 0,008^2 \cdot 1500} = 0,54 \text{ м/сек};$$

$$0,54 = 0,72 \sqrt{2 \cdot 9,81 h},$$

откуда $h = 0,029 \text{ м}$.

Принимаем для всех тарелок среднее значение $h = 0,027 \text{ м}$. Наибольшая высота слоя воды на тарелке должна быть ниже высоты борта тарелки: $h < h_0$, это условие выдержано.

Высота струй

На первой ступени $l_{c(I)} = l_1 - h = 0,400 - 0,027 = 0,373$, отношение

$$\frac{l_{c(I)}}{h} = \frac{0,373}{0,027} = 13,8.$$

На остальных ступенях $l_{c(II)} = l_{c(III)} = l_{c(IV)} = 0,500 - 0,027 = 0,473$, отношения

$$\frac{l_{c(II)}}{h} = \frac{l_{c(III)}}{h} = \frac{l_{c(IV)}}{h} = \frac{0,473}{0,027} = 17,5.$$

Для определения температуры воды t_2 на выходе из ступени необходимо вычислить коэффициент ψ по формуле (5):

$$\psi = 0,003 (w_{np}^2 p'')^{0,2},$$

здесь w_{np} — скорость пара, набегающего на струи воды в среднем сечении ступени;

p'' — плотность пара в этом сечении.

Поскольку скорость пара w_{np} зависит от искомого значения температуры воды t_2 , расчет w_{np} ведем методом последовательного приближения. Задаемся расходом пара, поступающего на ступень. Вычисляем средний расход пара на ступени как среднеарифметический из расходов пара на входе в ступень и выходе из нее. Находим среднюю скорость пара в ступени. Вычисляем значение ψ . Затем по номограмме (приложение II) находим значение $\lg \frac{t_n - t_1}{t_n - t_2}$, откуда вычисляем значение t_2 . Контрольным расчетом

служит уравнение теплового баланса ступени. Если баланс пара не сходится, то задаемся новым значением расхода пара на ступень. Введем расчет в той же последовательности, добиваясь минимальной невязки теплового баланса — не выше 1%.

Расчет нагрева воды ведем последовательно, начиная с первой (верхней) ступени.

Первая (верхняя) ступень. Учитывая, что большая доля нагрева воды приходится на верхнюю ступень, задаемся расходом пара на эту ступень, равным 85% расхода пара на деаэра-тор.

Средний расход пара по ступени

$$G_{п(I)} = \frac{0,85G_{п} + G_{вып}}{2} = \frac{0,85 \cdot 12,4 + 1,63}{2} = 6,06 \text{ т/ч.}$$

Средняя скорость пара

$$w_{п(I)} = \frac{1000G_{п(I)}}{3600\rho''S_I}$$

При температуре пара $t_{п(I)} = 60,2 - 3 = 57,2^\circ \text{C}$ $\rho''_I = 0,116 \text{ кг/м}^3$.

Цилиндрическая поверхность в среднем сечении для набегающего пара

$$S_I = \pi \left(\frac{d_1 + d_2}{2} \right) l_{с(I)} = 3,14 \left(\frac{0,8 + 1,4}{2} \right) 0,373 = 1,29 \text{ м}^2.$$

$$w_{п(I)} = \frac{1000 \cdot 6,06}{3600 \cdot 0,116 \cdot 1,29} = 11,3 \text{ м/сек;}$$

$$\phi = 0,003 (11,3^2 \cdot 0,116)^{0,25} = 0,0067.$$

$$\text{Отношение } \frac{\phi}{d_0} = \frac{0,0067}{0,0080} = 0,84.$$

$$\text{По номограмме (приложение II) } \lg \frac{t_{п(I)} - t_{1(I)}}{t_{п(I)} - t_{2(I)}} = 1,07;$$

$$\frac{57,2 - 15}{57,2 - t_{2(I)}} = 11,7, \text{ откуда } t_{2(I)} = 53,6^\circ \text{C.}$$

Тепловой баланс первой ступени

Приход тепла

$$\text{С паром } G_{п(вх)} i_{п(вх)} = 1000 \cdot 0,85 \cdot 12,4 \cdot 2605 = 27,4 \cdot 10^6 \text{ кДж/ч.}$$

$$\text{С водой } G_{вств} c t_{в} = 1000 \cdot 135 \cdot 4,19 \cdot 15 = 8,48 \cdot 10^6 \text{ кДж/ч}$$

$$\text{Сумма } 35,88 \cdot 10^6 \text{ кДж/ч}$$

Расход тепла

$$\text{С выпаром } G_{вып} i_{вып} = 1000 \cdot 1,63 \cdot 2603 = 4,25 \cdot 10^6 \text{ кДж/ч}$$

$$\text{С водой } G_{в(I)} c t_{2(I)} = 1000 \cdot (135 + 0,85 \cdot 12,4 - 1,63) \cdot 4,19 \cdot 53,6 = 32,2 \cdot 10^6 \text{ кДж/ч}$$

$$\text{Сумма } 36,45 \cdot 10^6 \text{ кДж/ч.}$$

Невязка теплового баланса $0,57 \cdot 10^6 \text{ кДж/ч} = 1,6\%$ — велика.

Вторая попытка. Задаемся расходом пара на первую ступень, равным 87% от расхода пара на деаэра-тор, и повторяем рас-чет.

Средний расход пара по ступени;

$$G_{п(I)} = \frac{0,87 \cdot 12,4 + 1,63}{2} = 6,21 \text{ т/ч.}$$

Средняя скорость пара по ступени:

$$w_{п(I)} = \frac{1000 \cdot 6,21}{3600 \cdot 0,116 \cdot 1,29} = 11,6 \text{ м/сек;}$$

$$\phi = 0,003 (11,6^2 \cdot 0,116)^{0,25} = 0,0068.$$

$$\text{Отношение } \frac{\phi}{d_0} = 0,86.$$

$$\text{По номограмме } \lg \frac{57,2 - 15}{57,2 - t_{2(I)}} = 1,09;$$

$$\frac{57,2 - 15}{57,2 - t_{2(I)}} = 12,3, \text{ откуда } t_{2(I)} = 53,8^\circ \text{C.}$$

Тепловой баланс первой ступени

Приход тепла

$$\text{С паром } 1000 \cdot 0,87 \cdot 12,4 \cdot 2605 = 28,05 \cdot 10^6 \text{ кДж/ч.}$$

$$\text{С водой } 1000 \cdot 135 \cdot 4,19 \cdot 15 = 8,48 \cdot 10^6 \text{ кДж/ч}$$

$$\text{Сумма } 36,53 \cdot 10^6 \text{ кДж/ч.}$$

Расход тепла

$$\text{С выпаром } 1000 \cdot 1,63 \cdot 2603 = 4,25 \cdot 10^6 \text{ кДж/ч.}$$

$$\text{С водой } 1000 (135 + 0,87 \cdot 12,4 - 1,63) \cdot 4,19 \cdot 53,8 = 32,5 \cdot 10^6 \text{ кДж/ч}$$

$$\text{Сумма } 36,75 \cdot 10^6 \text{ кДж/ч.}$$

Невязка теплового баланса $0,22 \cdot 10^6 \text{ кДж/ч} = 0,6\%$ — допустима.

Вторая ступень

Примем расход пара на вторую ступень равным 94% от расхода пара на деаэра-тор.

Средний расход пара по ступеням:

$$G_{п(II)} = \left(\frac{0,94 + 0,87}{2} \right) \cdot 12,4 = 11,2 \text{ т/ч.}$$

Средняя скорость пара:

$$w_{п(II)} = \frac{1000 \cdot 11,2}{3600 \cdot 0,121 \cdot 1,86} = 13,9 \text{ м/сек,}$$

где 0,121 — плотность пара при температуре 58,2° С;
 $3,14 \cdot \left(\frac{1,1 + 1,4}{2} \right) \cdot 0,473 = 1,86$ — цилиндрическая поверхность в среднем сечении для набегающего пара.

$$\psi = 0,003 (13,9^2 \cdot 0,121)^{0,3} = 0,0078.$$

$$\text{Отношение } \frac{\psi}{d_0} = 0,98.$$

$$\text{По номограмме: } \lg \frac{t_{п(II)} - t_{1(II)}}{t_{п(II)} - t_{2(II)}} = 1,56;$$

$$\frac{58,2 - 53,8}{58,2 - t_{2(II)}} = 36,3 \text{ откуда } t_{2(II)} = 58,08 \approx 58,1^\circ \text{ С.}$$

Тепловой баланс второй ступени

Приход тепла

$$\text{С паром } 1\,000 \cdot 0,94 \cdot 12,4 \cdot 2\,607 = 30,4 \cdot 10^6 \text{ кдж/ч}$$

$$\text{С водой } 1\,000 \cdot (135 + 0,87 \cdot 12,4 - 1,63) \cdot 4,19 \cdot 53,8 = 32,4 \cdot 10^6 \text{ кдж/ч}$$

$$\text{Сумма } 62,8 \cdot 10^6 \text{ кдж/ч.}$$

Расход тепла

$$\text{С паром } 1\,000 \cdot 0,87 \cdot 12,4 \cdot 2\,605 = 28,05 \cdot 10^6 \text{ кдж/ч}$$

$$\text{С водой } 1\,000 \cdot (135 + 0,94 \cdot 12,4 - 1,63) \cdot 4,19 \cdot 58,1 = 35,3 \cdot 10^6 \text{ кдж/ч}$$

$$\text{Сумма } 63,35 \cdot 10^6 \text{ кдж/ч.}$$

Невязка теплового баланса $0,55 \cdot 10^6 \text{ кдж/ч} = 0,87\%$ — допустима.

Третья ступень

Примем расход пара на третью ступень равным 98% от расхода пара на деаэрактор.

Средний расход пара по ступени:

$$G_{п(III)} = \frac{(0,98 + 0,94)}{2} \cdot 12,4 = 11,9 \text{ т/ч.}$$

Средняя скорость пара:

$$w_{п(III)} = \frac{1\,000 \cdot 11,9}{3\,600 \cdot 0,125 \cdot 1,86} = 14,0 \text{ м/сек.}$$

где 0,125 — плотность пара при температуре 59,2° С;

1,86 — цилиндрическая поверхность в среднем сечении для набегающего пара.

$$\psi = 0,003 (14,0^2 \cdot 0,125)^{0,3} = 0,0079.$$

$$\text{Отношение } \frac{\psi}{d_0} = 0,96.$$

$$\text{По номограмме } \lg \frac{t_{п(III)} - t_{1(III)}}{t_{п(III)} - t_{2(III)}} = 1,60.$$

$$\frac{59,2 - 58,1}{59,2 - t_{2(III)}} = 39,8, \text{ откуда } t_{2(III)} = 59,1^\circ \text{ С.}$$

Тепловой баланс третьей ступени

Приход тепла

$$\text{С паром } 1\,000 \cdot 0,98 \cdot 12,4 \cdot 2\,608 = 31,7 \cdot 10^6 \text{ кдж/ч}$$

$$\text{С водой } 1\,000 \cdot (135 + 0,94 \cdot 12,4 - 1,63) \cdot 4,19 \cdot 58,1 = 35,3 \cdot 10^6 \text{ кдж/ч}$$

$$\text{Сумма } 67,0 \cdot 10^6 \text{ кдж/ч.}$$

Расход тепла

$$\text{С паром } 1\,000 \cdot 0,94 \cdot 12,4 \cdot 2\,607 = 30,4 \cdot 10^6 \text{ кдж/ч}$$

$$\text{С водой } 1\,000 \cdot (135 + 0,98 \cdot 12,4 - 1,63) \cdot 4,19 \cdot 59,1 = 36,0 \cdot 10^6 \text{ кдж/ч}$$

$$\text{Сумма } 66,4 \cdot 10^6 \text{ кдж/ч.}$$

Невязка теплового баланса $0,6 \cdot 10^6 \text{ кдж/ч} = 0,9\%$ допустима.

Четвертая (нижняя) ступень

Средний расход пара по ступени:

$$G_{п(IV)} = \frac{(1,00 + 0,98)}{2} \cdot 12,4 = 12,3 \text{ т/ч.}$$

Средняя скорость пара:

$$w_{п(IV)} = \frac{1\,000 \cdot 12,3}{3\,600 \cdot 0,132 \cdot 1,86} = 13,9 \text{ м/сек.}$$

где 0,132 — плотность пара при температуре 59,2° С.

$$\psi = 0,003 (13,9^2 \cdot 0,132)^{0,3} = 0,0081.$$

$$\text{Отношение } \frac{\psi}{d_0} = 1,01.$$

$$\text{По номограмме } \lg \frac{t_{п(IV)} - t_{1(IV)}}{t_{п(IV)} - t_{2(IV)}} = 1,61;$$

$$\frac{60,2 - 59,1}{60,2 - t_{2(IV)}} = 40,8, \text{ откуда } t_{2(IV)} \approx 60,1^\circ \text{ С} > 60^\circ \text{ С.}$$

Таким образом, заданный нагрев воды до $t_d = 60^\circ \text{ С}$ обеспечен. При этом недогрев воды до температуры кипения $< 0,2^\circ \text{ С}$. Следовательно, обеспечена требуемая глубина деаэрации.

Тепловой баланс четвертой ступени

Приход тепла

С паром $1000 \cdot 12,4 \cdot 2610 = 32,3 \cdot 10^6 \text{ кдж/ч}$

С водой $1000 \cdot (135 + 0,98 \cdot 12,4 - 1,63) \cdot 4,19 \cdot 59,1 = 36,0 \cdot 10^6 \text{ кдж/ч}$

Сумма $68,3 \cdot 10^6 \text{ кдж/ч}$

Расход тепла

С паром $1000 \cdot 0,98 \cdot 12,4 \cdot 2608 = 31,7 \cdot 10^6 \text{ кдж/ч}$

С водой $1000 \cdot (135 + 12,4 - 1,63) \cdot 4,19 \cdot 60 = 36,6 \cdot 10^6 \text{ кдж/ч}$

Сумма $68,3 \cdot 10^6 \text{ кдж/ч}$

Результаты расчета нагрева воды по ступеням сведены в табл. 2.

Таблица 2

№ ступеней	Конструктивная высота ступени, мм	Активная высота ступеней, мм	Температура воды, °C		Нагрев воды в ступени $t_2 - t_1$, °C
			на входе t_1	на выходе t_2	
1	400	373	15,0	53,8	38,8
2	500	473	53,8	58,1	4,1
3	500	473	58,1	59,1	1,0
4	500	473	59,1	60,0	0,9

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

ВСПОМОГАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И СХЕМЫ ВАКУУМНЫХ ДЕАЭРАТОРНЫХ УСТАНОВОК

3-1. БАК-АККУМУЛЯТОР

Бак-аккумулятор деаэрационной установки (рис. 16) служит емкостью, необходимой для создания запаса, обеспечивающего бесперебойную подачу потребителям деаэрированной воды и надежную работу откачивающего насоса, и в то же время используется для снижения остаточного содержания кислорода и углекислоты в деаэрированной воде.

Последняя задача решается путем организации в бак-аккумуляторе вскипания воды за счет падения температуры воды, выходящей из колонки, или устройства барботажной продувки.

Опыты, проведенные для определения влияния указанных факторов на содержание кислорода в воде, показали следующее: при вскипании воды в бак-аккумуляторе за счет снижения температуры на $1-4^\circ\text{C}$ уменьшение содержания O_2 в воде составляет $0,03-0,10 \text{ мг/кг}$. Десять минут пребывания воды в бак-аккумуляторе

даёт снижение O_2 в воде в среднем на $0,015 \text{ мг/кг}$. Как видим, влияние времени пребывания воды в бак-аккумуляторе на снижение O_2 сравнительно невелико. Объясняется это тем, что в большом слое воды выделение газовых пузырьков идет очень медленно. В согласии с изложенным рабочая емкость бака-аккумулятора вы-

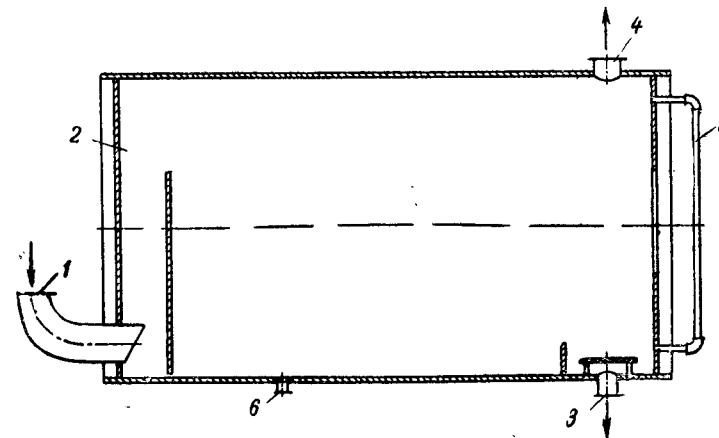


Рис. 16. Бак-аккумулятор деаэрированной воды.

1 — вход воды из колонки; 2 — гидрозатвор; 3 — выход деаэрированной воды (к насосу); 4 — отвод пара; 5 — водоуказательное стекло; 6 — спуск воды.

бирается, исходя только из условия обеспечения требуемого запаса воды. Его должно хватить на бесперебойную подачу в течение не менее 10 мин . Если по условиям эксплуатации необходим запас воды на $40-60 \text{ мин}$, то устанавливают вертикальные баки, работающие под атмосферным давлением.

Барботажная паровая продувка поддерживает воду в бак-аккумуляторе в состоянии слабого кипения. Опыты показали, что снижение O_2 в деаэрированной воде от действия барботажной продувки составляет в среднем $0,06 \text{ мг/кг}$. Следовательно, барботажная продувка повышает эффективность работы вакуумной деаэрационной установки. Расход пара на барботаж $5-7 \text{ кг/т}$ воды. Так как вода, выходящая из колонки, имеет температуру, близкую к температуре кипения, то количество конденсируемого пара ничтожно. Почти весь барботажный пар уходит с выпаром.

Барботажное устройство размещается в нижней части бака-аккумулятора. Оно выполняется в виде

дырчатых труб или решёток. В баке-аккумуляторе устраивают одну или две вертикальные перегородки, создающие движение воды вдоль оси бака, благодаря чему обеспечивается наилучший контакт воды с паром при барботаже и наибольшее время пребывания воды в баке.

При случайном повышении давления в баке-аккумуляторе, например при внезапной остановке вакуум-насоса, возможен заброс воды в паропровод барботажного пара. Если пар поступает из отбора турбины, то необходимо предусмотреть установку обратного клапана на паропроводе и U-образного колена высотой 4—5 м.

Вскипание воды в баке-аккумуляторе зависит от способов слива воды из колонки и отвода выпара из бака-аккумулятора. Для обеспечения вскипания слив воды из колонки устраивают с помощью гидравлического затвора. Колонку располагают на такой высоте, чтобы ось патрубка греющего пара, поступающего в колонку, была выше максимального уровня воды в баке-аккумуляторе не менее чем на 0,5 м.

Выпар из бака-аккумулятора отводят в охладитель выпара. Возможен отвод выпара и в промежуточную ступень колонки. В этом случае выпар из бака-аккумулятора используется в колонке в качестве греющего пара, однако, поскольку уменьшается разность температур воды в колонке и баке-аккумуляторе, соответственно уменьшается вскипание воды в последнем. Предпочтение следует отдать первому способу отвода выпара.

Снижение температуры воды, поступающей в бак-аккумулятор при отводе из него выпара в охладитель, определяется гидравлическим сопротивлением всей колонки. Оно обычно в пределах 2000—3000 н/м² (200—300 мм вод. ст.). Соответственно разность температур воды в нижней части колонки и в баке-аккумуляторе составляет 2—3° С.

При устройстве барботажной продувки в баке-аккумуляторе гидравлический затвор на сливе воды из колонки не обязателен. В этом случае бак-аккумулятор обладает статической саморегулирующей способностью. Она заключается во вскипании воды в баке при понижении давления в колонке, вызванном колебаниями нагрузки либо температуры поступающей воды. Эта способность может быть сохранена и при выводе воды из колонки в бак через гидрозатвор. Для этого следует

применить отвод выпара из бака в промежуточную ступень деаэраторной колонки.

Из изложенного видно, что бак-аккумулятор обеспечивает устойчивую работу установки в целом при колебаниях режима в колонке. «Проскоки» кислорода и свободной углекислоты в значительной мере снимаются в баке-аккумуляторе.

Полная (геометрическая) емкость бака-аккумулятора выбирается равной 1,30—1,35 рабочей емкости. Наивыгоднейшая форма бака-аккумулятора — горизонтальный цилиндр. В зависимости от местных условий бак-аккумулятор может быть установлен вертикально.

Определим размеры бака-аккумулятора вакуумного деаэратора производительностью 200 т/ч. Принимаем 12-минутный запас воды в баке-аккумуляторе.

Полная (геометрическая) емкость

$$\frac{200 \cdot 12}{0,75 \cdot 60} = 53,4 \text{ м}^3,$$

где 0,75 — коэффициент заполнения бака водой.

При диаметре бака 2,7 м его длина 9,3 м.

Бак-аккумулятор может быть закрытым и работать под вакуумом или представлять собой открытый сосуд, находящийся под атмосферным давлением. В первом случае колонка располагается непосредственно на баке. Установка получается компактной, небольшой высоты. Однако при этом необходим более тщательный эксплуатационный контроль за отсутствием присосов.

Во втором случае вакуумный деаэратор располагается выше верхнего уровня воды в открытом баке на 8—10 м. Этот вариант в эксплуатационном отношении более надежен, так как вся необходимая арматура, регуляторы, приборы, отборники проб устанавливаются внизу на участках трубопроводов, находящихся под давлением, что исключает присосы.

Для защиты деаэрированной воды в открытом баке от насыщения кислородом воздуха уровень ее покрывается деревянным, пластмассовым или полым металлическим поплавком и над поверхностью воды создается паровая или азотная подушка избыточным давлением 100—200 мм вод. ст.

3.2. ОХЛАДИТЕЛЬ ВЫПАРА

В отличие от атмосферного деаэратора, где охладитель выпара служит только для утилизации тепла конденсации выпара, в вакуумном деаэраторе основное

назначение охладителя выпара—создать резкое сокращение объема парогазовой смеси. Из вакуумного деаэратора поступает огромный объем выпара, с которым газоотсасывающее устройство не могло бы справиться. Так, например, часовой объем выпара из вакуумного деаэратора производительностью 200 т/ч воды при давлении 0,1 бар и удельном расходе выпара (суммарно из колонки и бака-аккумулятора) 13,5 кг/т воды составит:

$$200 \cdot 13,5 \cdot 15 = 40\,500 \text{ м}^3/\text{ч},$$

где 15 — удельный объем пара, м³/кг.

Для откачки такого количества пара потребовалось бы 34 вакуум-насоса РМК-4, потребляющих 2000 кВт мощности. При наличии охладителя выпара объем парогазовой смеси, откачиваемой вакуум-насосом, уменьшится примерно в 100 раз. Соответственно уменьшится требуемая производительность вакуум-насосов и расход энергии. Резкое сокращение объема парогазовой смеси в охладителе выпара происходит вследствие конденсации почти всего выпара—не менее 99% и охлаждения остаточной парогазовой смеси.

Из изложенного видно, что охладитель выпара является обязательным элементом вакуумной деаэрационной установки. Опыт показал, что для вакуумной деаэрационной установки наиболее подходит охладитель выпара смешивающего типа, работающего по принципу противоточного конденсатора смешения. Такой охладитель выпара прост и удобен в эксплуатации. Расход воды на охладитель выпара смешивающего типа меньше, чем на охладитель выпара поверхностного типа. Последний часто выходит из строя вследствие интенсивной коррозии трубок. Отметим, что достоинством охладителей выпара поверхностного типа является отсутствие в них разрыва потока охлаждающей воды, что позволяет устанавливать их на низких отметках.

Использование отходящей воды (смесь охлаждающей воды и конденсата выпара) позволяет полностью утилизировать тепло выпара. Это важно, поскольку с выпаром теряется значительное количество тепла—20—40%, расходуемого на вакуумный деаэратор.

При малом расходе выпара—до 1 т/ч и чистой охлаждающей воды, не дающей осадков, применим одноступенчатый охладитель выпара с распределением воды круглыми линейными струями с помощью решетки (рис. 17). При расходе выпара свыше 1 т/ч и чистой

охлаждающей воде распределение воды из охладителя выпара осуществляется также круглыми линейными струями. Полки сегментные, дырчатые, число ступеней 2—4. При расходе выпара до 1 т/ч и при охлаждающей воде, дающей осадки, рекомендуется устройство охладителя выпара по типу плоскоструйного конденсатора смешения со сплошными полками. Число ступеней 2—3.

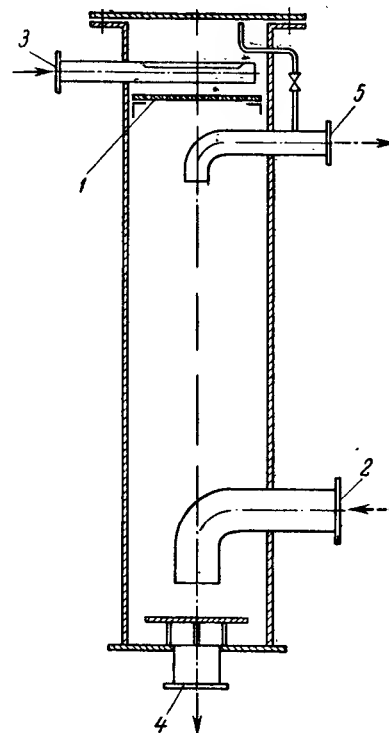


Рис. 17. Охладитель выпара струйного типа.

1 — дырчатая тарелка; 2 — вход выпара; 3 — вход воды; 4 — отвод воды; 5 — отсос остаточной парогазовой смеси.

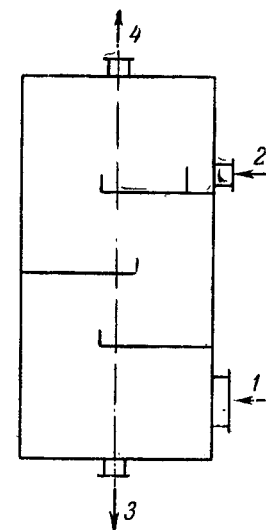


Рис. 18. Схема охладителя выпара с сегментными полками.

1 — вход выпара; 2 — вход воды; 3 — отвод воды; 4 — отсос остаточной парогазовой смеси.

При расходе выпара свыше 1 т/ч 3—4 ступени. В последних трех случаях рекомендуется устройство охладителя выпара по конструктивной схеме, показанной на рис. 18.

Охладитель выпара рассчитывается как противоточный конденсатор смешения на следующие условия работы: конденсация не менее 99% поступающего пара, температура выходящей из охладителя остаточной

парогазовой смеси выше температуры поступающей охлаждающей воды не более чем на 6—8°С. Так как температура остаточной парогазовой смеси по условиям работы газоотсасывающего устройства не должна превышать 40°С, то, следовательно, температура поступающей воды должна быть не выше 32°С. Температура отходящей, так называемой барометрической воды (смесь поступающей воды и конденсата пара) рассчитывается на 5—6°С ниже температуры поступающего пара. Скорость пара в нижней части охладителя выпара, отнесенная к полному сечению при распределении воды плоскими и цилиндрическими струями 10—15 м/сек и при распределении воды круглыми, линейными струями 15—25 м/сек.

Режим работы охладителя выпара регулируется путем изменения расхода, а если возможно, то и температуры поступающей воды.

Рассмотрим вопрос о схемах включения охладителя выпара.

1. Если температура воды, поступающей в деаэрактор, не выше 32°С, то можно всю воду, поступающую в деаэракторную колонку, пропустить «транзитом» через охладитель выпара. Вода сперва работает в охладителе выпара и конденсирует пар, затем, подогретая и частично обескислороженная в охладителе выпара, сливается в деаэракторную колонку. Недостаток этой схемы включения охладителя выпара — трудность совместного регулирования режима колонки и охладителя выпара.

2. Если на охладитель выпара поступает такая же вода, как и на колонку, и достаточной низкой температуры — не выше 25°С, то целесообразен отдельный подвод воды в охладитель выпара и отвод воды с помощью гидравлического затвора на соответствующую по температуре ступень деаэракторной колонки. Охладитель выпара выносной. В обоих случаях тепло выпара полностью утилизируется в деаэракторной установке.

3. Если на деаэрактор поступает химочищенная вода, а на охладитель выпара — сырая, то из охладителя выпара устраивается отдельный отвод воды. Отвод воды из охладителя выпара возможен одним из двух способов: с помощью барометрической трубы высотой от 9 до 11 м* в открытый бак или с помощью насоса. Баро-

* Высота барометрической трубы уточняется в зависимости от величины вакуума в охладителе выпара.

метрическая вода утилизируется в цикле водоподготовки или используется для других производственных нужд в зависимости от местных условий.

Отдельный отвод воды из охладителя устраивают также в деаэраторах перегретой воды.

3.3. ГАЗООТСАСЫВАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА

Отсасывающее устройство необходимо для удаления неконденсирующихся газов: кислорода (O_2), азота (N_2) и углекислоты (CO_2) и поддержания вакуума в деаэраторе. Газы и воздух поступают с водой, паром и через неплотности вакуумной системы.

Отсасывающее устройство забирает парогазовую смесь из охладителя выпара. Оно должно обеспечить удаление всей остаточной парогазовой смеси.

В условиях эксплуатации объем и давление отсасываемой парогазовой смеси меняются вследствие изменения количества газов, выделяемых из воды, присосов воздуха и температуры парогазовой смеси. Последняя изменяется в зависимости от температуры воды, поступающей в охладитель выпара, и расхода выпара при соответствующем изменении расхода охлаждающей воды. Отсасывающее устройство должно выбираться с учетом максимального выделения газов при наиболее глубоком вакууме, требуемом по условиям работы вакуумной деаэракторной установки. В согласии с ГОСТ на вакуумные деаэраторы принимают максимальное выделение растворенных газов 50 г на 1 т поступающей на деаэрактор воды, включая расход воды на охладитель выпара. С учетом присосов и газов в греющем паре отсасывающее устройство рассчитывают на 60 г газов на 1 т воды.

Параметры отсасываемой парогазовой смеси рассчитывают по ее состоянию на выходе из охладителя выпара. Эту парогазовую смесь можно рассматривать с точностью, достаточной для практических расчетов, как смесь газа и пара в состоянии насыщения.

Абсолютное давление на входе в отсасывающее устройство выбирается в пределах 0,05—0,10 бар или 5—10 кН/м² (37—75 мм рт. ст.), что при атмосферном давлении 750 мм рт. ст. соответствует вакууму 95—90 кН/м² (713—675 мм рт. ст.). Температура парогазовой смеси на входе в отсасывающее устройство обычно в пределах 25—35°С.

Покажем на примере, как рассчитать объемный расход парогазовой смеси, поступающей в отсасывающее устройство.

Заданные условия: расход деаэрированной воды (включая воду из охладителя выпара) $G_v = 300$ т/ч. Парогазовая смесь на входе в отсасывающее устройство: абсолютное давление $p_{абс} = 0,08$ бар или 8 кН/м² (60 мм рт. ст.), температура 30°C .

При температуре 30°C давление насыщенного пара $p_n = 0,042$ бар, удельный объем пара $v_n = 32,93$ м³/кг (по термодинамическим таблицам).

Парциальное давление газов

$$p_r = p - p_n = 0,080 - 0,042 = 0,038 \text{ бар.}$$

Объем 1 кг газа при указанных условиях

$$v_r = \frac{R_r T_r}{p_r} = \frac{287 (273 + 30)}{0,038 \cdot 10^5} = 22,9 \text{ м}^3/\text{кг.}$$

Газовая постоянная R_r принята, как для воздуха, 287 Дж/кг · град.

Принимаем количество удаляемых газов $g_r = 60$ г на 1 т воды. Объемный расход отсасываемой парогазовой смеси

$$V = v_r g_r G_v = 22,9 \cdot 0,06 \cdot 300 = 414 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

В качестве отсасывающих устройств для вакуумных деаэраторов применимы: механические вакуум-насосы — ротационные, водокольцевые и эжекторы — пароструйные и водоструйные.

Ротационный водокольцевой вакуум-насос работает по принципу вращающегося водяного поршня (рис. 19, а). В цилиндре насоса эксцентрично расположен ротор — вращающееся рабочее колесо с лопатками. Цилиндр насоса наполовину заполнен водой. Вода захватывается лопатками вращающегося ротора и отбрасывается к стенкам цилиндра. Создается водяное кольцо. Последнее вместе с лопатками образует закрытые полости — ячейки. Вследствие эксцентричного расположения ротора объем ячеек при вращении ротора меняется. Парогазовая смесь засасывается в ячейку с наибольшим объемом. За один оборот объем ячейки уменьшается, при этом газ сжимается и выталкивается наружу.

Глубина вакуума, создаваемого водокольцевым вакуум-насосом, зависит от температуры поступающей в него воды. На вакуум-насос следует подавать холодную воду.

Водокольцевые вакуум-насосы РМК и ВВН создают остаточное давление до $0,04$ бар (4 кН/м²), соответст-

венно вакуум до 720 мм рт. ст. (при атмосферном давлении 1 бар). Производительность вакуум-насосов РМК и ВВН от 4 до 50 м³/мин засасываемого газа.

Расход энергии на вакуум-насос пропорционален его объемной производительности. Последняя пропорциональна массовому расходу газа, абсолютной температу-

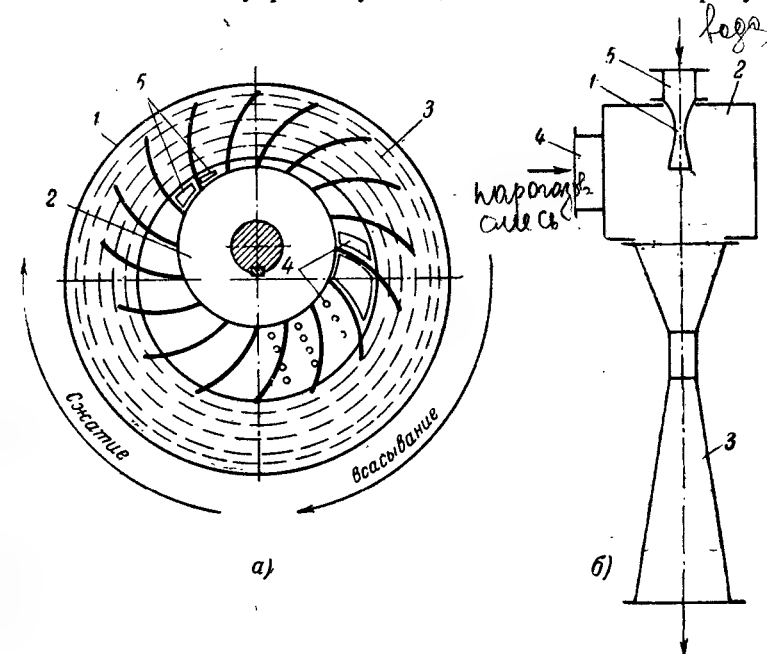


Рис. 19. Схемы устройства ротационного водокольцевого вакуум-насоса и эжектора.

а — ротационный водокольцевой вакуум-насос; 1 — корпус; 2 — рабочее колесо; 3 — водяное кольцо; 4 — всасывающие отверстия; 5 — выхлопное отверстие; б — эжектор; 1 — сопло; 2 — приемная камера; 3 — диффузор; 4 — вход парогазовой смеси; 5 — выход рабочего пара или рабочей воды.

ре парогазовой смеси и обратно пропорциональна парциальному давлению газов, содержащихся в парогазовой смеси. Поэтому все мероприятия, уменьшающие количество газов и снижающие температуру парогазовой смеси, уменьшают нагрузку вакуум-насосов и снижают расход энергии на них.

Пароструйный эжектор работает на паре, который поступает в сопло эжектора (рис. 19, б). Здесь пар расширяется до давления, несколько меньшего давления на

выходе из охладителя выпара. Струя рабочего пара вытекает из сопла с большой скоростью. Она захватывает парогазовую смесь, подсасываемую в приемную камеру эжектора, и поступает вместе с ней в диффузор. В диффузоре происходит сжатие смешанного потока (смесь рабочего пара и отсасываемой парогазовой смеси) до давления на выходе из эжектора.

Одна ступень пароструйного эжектора, создающего вакуум, дает степень сжатия до 7,5. При давлении парогазовой смеси на входе в эжектор в среднем 0,08 бар и давлении на выходе из него 1,03 бар требуемая степень сжатия

$$? \quad \frac{1,03}{0,08} = 12,8. \quad \text{рис.}$$

Следовательно, для получения достаточно глубокого вакуума число ступеней пароструйного эжектора вакуумного деаэратора должно быть не меньше двух. Для уменьшения работы сжатия и, следовательно, уменьшения расхода рабочего пара многоступенчатый пароструйный эжектор снабжается промежуточным холодильником (конденсатором). Применение промежуточных холодильников хотя и усложняет парозежекторную установку и связано с дополнительным расходом воды, но оправдано. Тепло рабочего пара эжекторной установки может быть утилизировано.

Коэффициент эжекции пароструйного эжектора — отношение массового расхода эжектируемой парогазовой смеси к расходу рабочего пара в условиях вакуумной деаэраторной установки находится в пределах 0,08—0,2, т. е. на 1 кг отсасываемой парогазовой смеси расходуется 5—12 кг рабочего пара.

Пароструйные эжекторы для паротурбинных установок выпускаются производительностью до 75 кг/ч (по сухому воздуху). Предельное остаточное давление, создаваемое двухступенчатым пароструйным эжектором 3 кН/м² (0,03 кг/см²).

Водяной эжектор работает на воде, которая под давлением 2—5 бар поступает в сопло эжектора (рис. 19,б). Здесь вода приобретает большую скорость, с которой поступает в камеру смешения и увлекает с собой в диффузор парогазовую смесь, поступающую в ту же камеру. В диффузоре скорость воды падает, и ее кинетическая энергия расходуется на сжатие газовой воздушной смеси до давления немного больше атмо-

сферного, при котором она выбрасывается наружу. В процессе сжатия в диффузоре почти весь пар, находящийся в парогазовой смеси, конденсируется.

Расход воды на водоструйный эжектор зависит от параметров отсасываемой парогазовой смеси, давления и температуры рабочей воды и меняется в широких пределах от 4 до 50 м³ на один килограмм отсасываемых газов.

Температура рабочей воды должна быть не выше 30° С.

Отработавшая вода из водоструйного эжектора может быть использована в деаэраторе, если она подходит по качеству. Для этого вода из эжектора сбрасывается в открытый ящик для отделения газов. Из ящика вода сливается или откачивается насосом в питательный бак либо затягивается в деаэраторную колонку за счет вакуума.

Каждый из рассмотренных типов отсасывающих устройств имеет свои достоинства и недостатки.

Ротационные водокольцевые вакуум-насосы: достоинства — привод от электродвигателя; способность работать с перегрузкой. Недостаток — необходим надзор (как за любым насосом) и периодический ремонт.

Пароструйные эжекторы: простота в эксплуатации, дешевизна. Недостаток — неустойчивая работа при перегрузке.

Водоструйные эжекторы: достоинства — простота устройства и эксплуатации, компактны, дешевы. Недостаток — недостаточно устойчивая работа при переменном режиме.

При выборе типа отсасывающего устройства учитывают способность поддерживать требуемый вакуум, надежность в эксплуатации, экономичность, а также принимают во внимание местные условия, например наличие пара требуемого давления для пароструйного эжектора, или воды требуемого давления и в необходимом количестве для водоструйного эжектора. В отношении первого требования — вакуума отметим, что при равном режиме работы деаэраторной установки вакуум-насосы и эжекторы равноценны. При перегрузке вакуум-насосы работают устойчивее, и поэтому для этого режима они предпочтительнее. Второму требованию — надежность в эксплуатации — в достаточной мере удовлетворяют как вакуум-насосы, так и эжекторы. Экономичность

определяется на основе расчетов эксплуатационных и капитальных затрат. Основные затраты — эксплуатационные: стоимость электроэнергии, пара, воды. Удельный вес остальных затрат невелик.

Отсасывающее устройство следует выбирать с двух-трехкратным запасом производительности по отношению к расчетной. При непрерывной работе деаэрационной установки необходим один резервный отсасывающий агрегат.

3.4. ПРОЧЕЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Откачивающий водяной насос. Для откачки деаэрированной воды из бака-аккумулятора, работающего под вакуумом, применяют центробежные конденсатные насосы, приспособленные для работы под разрежением на всасе.

Производительность насоса выбирается с запасом в 15—20% по отношению к максимальной производительности деаэрационной установки.

Полный напор, создаваемый насосом, рассчитывается по формуле

$$H = H_{\Gamma} + 10,2(p_n - p_q) + \Sigma h, \text{ м вод. ст.},$$

где H_{Γ} — геометрическая высота подачи воды — разность уровней в баке, куда поступает деаэрированная вода, и в баке-аккумуляторе деаэратора, м;

p_n — давление в баке или трубопроводе, куда поступает вода, бар;

p_q — давление в баке-аккумуляторе, бар;

Σh — суммарная потеря напора во всасывающем и нагнетательном трубопроводах насоса, м.

Для надежности работы насоса, откачивающего воду под разрежением, необходимо соблюдение следующих условий:

1. Насос устанавливают ниже бака-аккумулятора. Расстояние по высоте от низшего уровня в баке-аккумуляторе до оси насоса должно быть не менее 1,5 м.

2. Всасывающий трубопровод насоса должен быть по возможности коротким и не иметь крутых поворотов.

3. Водяное уплотнение сальников насоса.

4. Устройство отсоса пузырьков воздуха и пара из насоса с помощью оттяжки с вентильком. Диаметр оттяжки 10—12 мм. Она присоединяется к всасывающей

линии вакуум-насоса или эжектора либо к верхней точке бака-аккумулятора.

При соответствующем превышении вакуумного деаэратора над откачивающим насосом возможно применение центробежных насосов обычного типа.

При непрерывной работе деаэрационной установки устанавливается резервный откачивающий насос.

Питательный бак-подогреватель воды. Питательный бак-подогреватель необходим, если требуется производить нагрев воды, поступающей в деаэратор, когда бак используется в качестве смешивающего подогревателя. Если требуется сохранение конденсата пара, применяют поверхностный подогреватель. Так как в подогреватель поступает недеаэрированная вода, то трубки подогревателя во избежание коррозии должны быть латунные или из нержавеющей стали.

В некоторых случаях применение питательного бака диктуется необходимостью создания запаса недеаэрированной воды.

Питательный бак устанавливается на уровне деаэрированной колонки или выше ее. Возможна установка питательного бака и ниже деаэрационной колонки. В этом случае высота всасывания воды из питательного бака в деаэрационную колонку — разность уровней воды на верхней полке колонки и в баке — не должна превышать величины разрежения в колонке за вычетом 4—5 м, расходуемых на преодоление сопротивления тракта между баком и колонкой и на создание напора. Например, вакуум в колонке 680 мм рт. ст., барометрическое давление 735 мм рт. ст. Высота всасывания, которую нельзя превышать:

$$\frac{680 \cdot 10}{735} - 5 = 4,3 \text{ м.}$$

Расположение питательного бака ниже колонки при наличии подогрева воды в баке допустимо, если обеспечено отсутствие вскипания воды во всасывающей трубе, что необходимо проверить расчетом.

В питательном баке целесообразно устроить перегородки; их назначение — создать условия для сепарации воздуха, механически увлеченного водой в виде эмульсии. Количество эмульсированного воздуха, попадающего в деаэратор, заметно увеличивается в таких случаях: при неправильном подводе подающей трубы к баку, если

при этом струя из трубы бьет в зеркало воды и эжектирует воздух; если подводящая и отводящая трубы расположены в баке друг против друга; при малых размерах бака. В указанных случаях вода, поступающая в деаэратор, увлекает за собой воздух, который не успевает выделиться в баке.

Правильное расположение подводящей и отводящей труб, достаточные размеры бака, при которых вода находится в нем по крайней мере 4—5 мин, наличие «успокоительных» и направляющих перегородок могут свести к минимуму количество механически увеличенного воздуха.

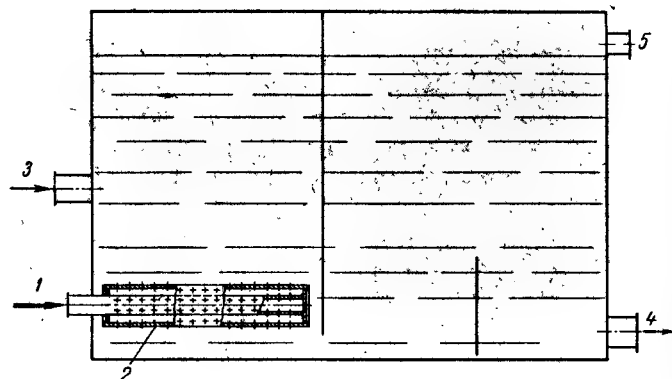


Рис. 20. Схема устройства питательного бака-подогревателя.

1 — вход греющего пара; 2 — бесшумный барботер; 3 — вход воды; 4 — выход воды; 5 — переливная труба.

ха. На рис. 20 показана схема устройства питательного бака, отвечающего указанным требованиям.

Подогрев воды в питательном баке осуществляется с помощью барботажного устройства в виде дырчатых труб или решеток либо с помощью бесшумного подогревателя.

Трубопроводы. Диаметр трубопровода рассчитывается в зависимости от допускаемой величины падения давления в нем либо по скорости движения на основе опытных данных. Приводим эти данные.

Трубопроводы для воды. Если вода поступает в деаэрационную колонку из открытого бака за счет напора, создаваемого разрежением в колонке, то скорость воды в трубопроводе выбирается в пределах $w = 1,2 \div 1,5$ м/сек. При поступлении воды под давлением

насоса скорость $w = 2,0 \div 2,5$ м/сек. Соответственно выбираются и скорости в трубопроводе воды, поступающей на охладитель выпара. Трубопровод, отводящий воду из колонки в бак-аккумулятор, $w = 0,5 \div 0,7$ м/сек. Всасывающий трубопровод насоса, откачивающего деаэрированную воду, $w = 1,0 \div 1,5$ м/сек, нагнетательный трубопровод $w = 2,0 \div 2,5$ м/сек. Заметим, что диаметры всасывающего и нагнетательного трубопроводов должны быть не меньше диаметров соответствующих штуцеров насоса. Барометрическая труба охладителя выпара $w = 0,3 \div 0,5$ м/сек. При отводе воды из охладителя выпара в колонку $w = 0,6 \div 0,8$ м/сек.

Паропроводы. В паропроводе греющего пара на участке до регулирующего вентиля скорость пара $w = 50 \div 80$ м/сек, на участке от регулирующего вентиля до колонки $w = 100 \div 120$ м/сек. Меньшие значения скоростей выбирают при большем давлении пара. Паропроводы выпара от колонки и бака-аккумулятора до охладителя выпара $w = 40 \div 70$ м/сек. Трубопровод парогазовой смеси от охладителя выпара до отсасывающего устройства $w = 10 \div 20$ м/сек. Отметим, что диаметр этого трубопровода должен быть не меньше диаметра всасывающего штуцера вакуум-насоса или эжектора.

3.5. СХЕМЫ ВАКУУМНЫХ ДЕАЭРАТОРНЫХ УСТАНОВОК

Схема вакуумной деаэрационной установки показана на рис. 21. Установка состоит из воздухоотделителя (ступени предварительного вскипания) 1, деаэрационной колонки 2, бака-аккумулятора 3, подогревателя (питательного бака) 4, охладителя выпара 5, вакуум-насоса (или эжектора) 6 и откачивающего водяного насоса 7.

Вакуумный деаэратор может работать с нагревом воды в колонке деаэратора или по способу деаэрации перегретой воды, или по способу «холодной» деаэрации.

Если деаэратор работает с нагревом воды в колонке, то вода предварительно не подогревается или подогревается частично при низкой температуре исходной воды.

Основной поток воды поступает в воздухоохладитель, в котором под действием вакуума удаляется 40—60% газов, а из него — на первую ступень колонки. Часть воды, подлежащей деаэрации, поступает в смесительный охладитель выпара 5, в котором конденсирует выпар из колонки и бака-аккумулятора. В охладителе выпара из воды под действием вакуума и вследствие нагрева

воды удаляется 80—90% растворенных газов. Смесь воды и конденсата выпара, так называемая барометрическая вода, из охладителя поступает через гидрозатвор на первую (верхнюю) либо вторую ступень деаэрационной колонки.

Если в деаэратор поступает химочищенная вода, а на охладитель выпара сырая вода (по линии 8), то

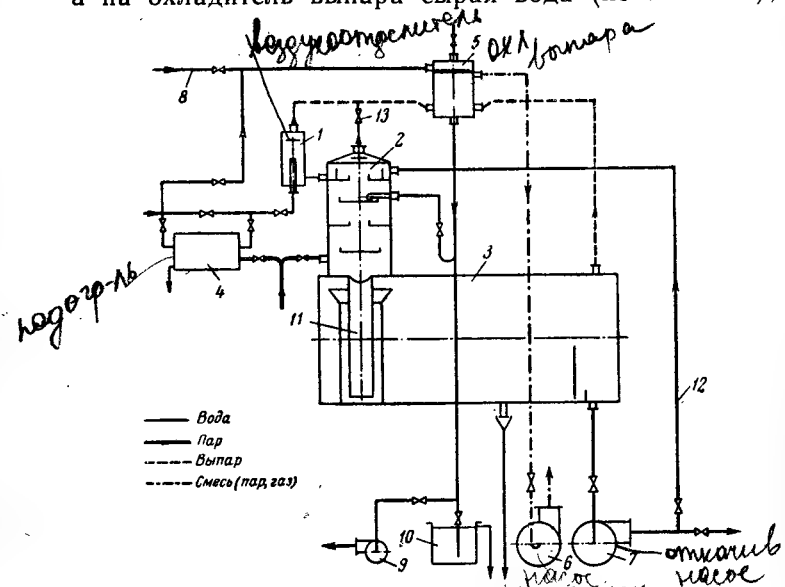


Рис. 21. Схема вакуумной деаэрационной установки.

вода из охладителя выпара отводится отдельно насосом 9, либо при наличии достаточной высоты отводящей (барометрической) трубы вода самотеком сливается в открытый бак 10.

Поток воды в колонке движется сверху вниз навстречу потоку пара, поступающему в нижнюю часть колонки. При этом осуществляется нагрев воды почти до температуры кипения и ее интенсивная дегазация. На вакуумную деаэрационную установку может подаваться пар с давлением как выше атмосферного, так и вакуумный — из отборов турбин при условии, что давление в отборе выше требуемого давления в деаэраторе.

Если деаэратор снабжается паром из отбора турбины, предусматривают запасный подвод пара от редукционно-охладительной установки.

Из нижней части колонки вода через гидрозатвор 11 поступает в бак-аккумулятор. Поскольку бак-аккумулятор присоединен к охладителю выпара отдельным трубопроводом для отвода выпара, вакуум в нем выше, чем в нижней части деаэрационной колонки, на величину гидравлического сопротивления колонки. Поэтому вода, поступающая из колонки в бак-аккумулятор через гидрозатвор, оказывается перегретой по отношению к температуре кипения в баке-аккумуляторе. Вследствие этого вода, выходящая из колонки, вскипает. Это обеспечивает ее дополнительную деаэрацию в баке-аккумуляторе. Выпар из бака-аккумулятора может быть направлен также под верхние ступени деаэрационной колонки. Это улучшает вентилизацию верхней части колонки, однако несколько уменьшает величину вскипания воды в баке-аккумуляторе.

Деаэрация воды в вакууме с подачей пара в колонку позволяет получать остаточное содержание кислорода в деаэрированной воде 0,03—0,05 мг/кг при различных температурах деаэрированной воды.

При деаэрации способом перегрева деаэрируемая вода поступает в подогреватель 4, где нагревается паром до заданной температуры. Подогреватель воды может быть смесительного (струйного или барботажного) либо поверхностного типа. Последний применяется, если необходимо сохранить конденсат греющего пара. Подогрев воды исключается, если вода, поступающая на деаэрацию имеет температуру выше температуры кипения в вакуумном деаэраторе.

Из подогревателя вся вода поступает в ступень предварительного вскипания 1. Затем вода поступает в колонку 2 и через гидрозатвор 11 в бак-аккумулятор 3. Подогретая вода вскипает в каждой из этих частей деаэратора. На отводе выпара из колонки установлена задвижка 13, которая позволяет изменять распределение величин вскипания в ступени предварительного вскипания, колонке и баке-аккумуляторе.

Деаэрация воды в вакууме способом перегрева позволяет получать остаточное содержание кислорода в деаэрированной воде до 0,01—0,02 мг/кг при различных температурах деаэрированной воды. При деаэрации воды способом перегрева на охладитель выпара вода подается из потока 8, температура которого ниже температуры деаэрированной воды.

Если осуществляется «холодная» деаэрация, то вода поступает в воздухоотделитель 1, минуя подогреватель 4. В воздухоотделителе происходит выделение механически увлеченного воздуха, а также грубая дегазация под действием вакуума. Воздухоотделитель обеспечивает также равномерную подачу воды в деаэрационную колонку. При отсутствии воздухоотделителя вода подается непосредственно на первую полку колонки.

При работе деаэратора по способу «холодной» деаэрации пар в деаэрационную колонку не поступает. Охладитель выпара не нужен.

Возможная глубина «холодной» деаэрации определяется разностью температур кипения в деаэраторе и деаэрируемой воды Δt_p . Чем меньше Δt_p , тем глубже деаэрация.

«Холодная» деаэрация в зависимости от ее режима и конструкции деаэратора позволяет удалять из воды 80—90% растворенных в ней газов.

Для повышения глубины «холодной» деаэрации применяется рециркуляция воды с помощью рециркуляционной линии 12.

Как показали наши опыты, рециркуляционный способ «холодной» деаэрации при кратности циркуляции 2—4 и значении Δt_p менее 3°С позволяет получать деаэрированную воду с содержанием кислорода 0,03—0,04 мг/кг.

Вакуумные деаэрационные установки могут быть выполнены и по другим схемам, а также различно включаться в технологическую схему водоподготовки. Рассмотрим некоторые наиболее типичные случаи.

При больших расходах химочищенной воды на подпитку тепловых сетей, горячее, промышленное и бытовое водоснабжение и т. п. ее подогрев перед вакуумным деаэратором может осуществляться в конденсаторах паровых турбин, работающих с ухудшенным вакуумом. В этом случае химочищенная вода заменяет охлаждающую циркуляционную воду.

На рис. 22 показана схема включения вакуумного деаэратора с подогревом воды в конденсаторе. На охладитель выпара 1 подается сырая вода. Затем она поступает на химводоочистку 2, из которой подается в водяное пространство конденсатора 3 турбины, работающей на ухудшенном вакууме.

Из конденсатора подогретая вода поступает в деаэратор 4, где вскипает. Выпар направляется в охладитель, где подогревает сырую воду перед химводоочисткой. В охладителе выпара осуществляется предварительная деаэрация воды (удаляется 80—85% газов), что защищает от коррозии оборудование водоочистки и тракт химочищенной воды до вакуумного деаэратора, включая конденсатор турбины.

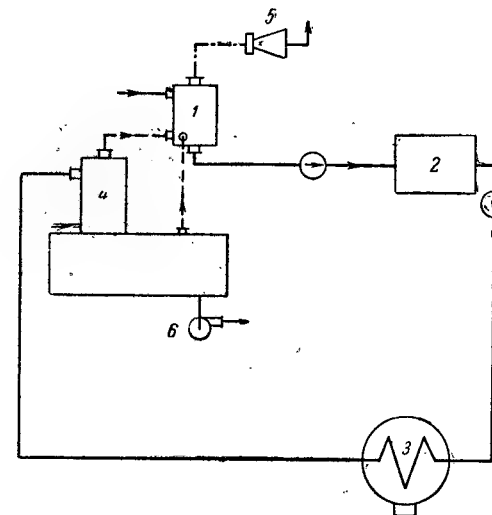


Рис. 22. Подогрев химочищенной воды перед вакуумным деаэратором в конденсаторе паровой турбины.

Газотсасывающий аппарат (вакуум-насос или эжектор) 5 удаляет парогазовую смесь из охладителя выпара, насос 6 откачивает деаэрированную воду из бака-аккумулятора.

При такой схеме включения вакуумного деаэратора электрическая нагрузка турбины связана с расходом химочищенной воды. В случае уменьшения нагрузки турбины при неизменном расходе химочищенной воды может потребоваться дополнительная подача пара в деаэратор.

На рис. 23 показана схема с подключением деаэратора к конденсатору турбины, как к охладителю выпара.

Химочищенная вода поступает в деаэратор 1, где деаэрируется при непосредственном смешении с паром.

Выпар из верхней части деаэратора направляется в конденсатор 2 и конденсируется вместе с отработавшим паром турбины 3.

Тепло конденсации воспринимается охлаждающей водой, циркулирующей по контуру 4. Парогазовая смесь отсасывается эжекторами 5; производительность эжекторов рассчитывается с учетом поступления газов из деаэратора.

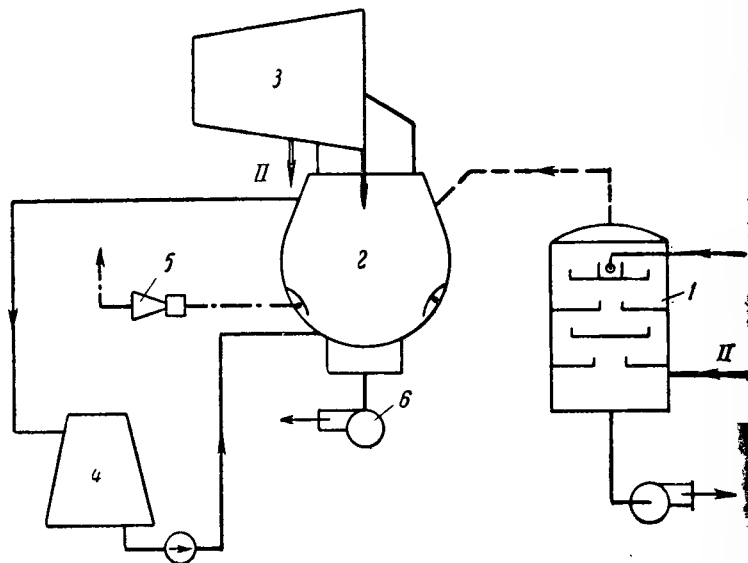


Рис. 23. Схема подключения вакуумного деаэратора к конденсатору паровой турбины.

В настоящее время в СССР и за рубежом уделяется много внимания деаэрации воды непосредственно в конденсаторах паровых турбин. ОРГРЭС и ЛМЗ проведены значительные работы по определению деаэрирующей способности конденсаторов паровых турбин различных типов. Исследованиями установлено, что в конденсаторах может быть достигнуто содержание кислорода в конденсате не выше $0,02 \text{ мг/кг}$. Это защищает от коррозии тракт конденсата от конденсатора до основных деаэраторов тепловых электростанций.

Проведенные исследования показали возможность деаэрации в конденсаторе химочищенной воды в количестве до 30% от номинальной паровой нагрузки кон-

денсатора. Если конденсаторы турбин обладают повышенной дегазирующей способностью, то возможно применение бездеаэраторных схем тепловых электростанций.

Надежная деаэрация в конденсаторах осуществляется в диапазоне паровых нагрузок 50—100%. Для глубокой деаэрации имеют значение также рациональная компоновка трубного пучка, удаление места эвакуации парогазовой смеси от уровня конденсата, места ввода и конструкция распределителей добавляемой в конденсатор химочищенной воды. Устройство, удаляющее воздух из конденсатора, должно быть способно удалять газы, поступающие с добавляемой химочищенной водой, а также иметь соответствующий запас производительности. Присосы должны быть сведены к минимуму, а в слой деаэрированной воды они вообще недопустимы.

Современные отечественные конденсаторы удовлетворительно работают как деаэраторы в зоне номинальных и близких к ним паровых нагрузок независимо от сезонных изменений температуры охлаждающей воды.

В конденсаторах паровых турбин может быть улучшено качество деаэрации при неблагоприятных режимных условиях (например, при паровой нагрузке меньше 50%), а также осуществлена деаэрация химочищенной воды в количествах до 100% и выше от номинальной паровой нагрузки конденсатора. Для этого конденсатор должен быть снабжен вакуумным деаэраторным конденсатосборником. На рис. 24 показана схема деаэрации химочищенной воды и конденсата пара в конденсаторе и вакуумном деаэраторном конденсатосборнике. Химочищенная вода подается через распылительные сопла в верхнюю часть конденсатора 1 турбины 2 навстречу потоку пара. Частично деаэрированная вода в смеси с конденсатом пара поступает в вакуумный деаэраторный конденсатосборник 3. В конденсатосборнике осуществляется двухступенчатая додеаэрация. При этом удаляются остаточные газы, растворенные в воде и механически увлеченные при падении струй воды.

В деаэраторный конденсатосборник подается вакуумный пар из отбора турбины абсолютным давлением 0,2—0,3 бар. В качестве резерва используется пар другого давления. Выпар из деаэраторного конденсатосборника направляется в паровое пространство конденсатора.

Циркуляционная охлаждающая система 4 обеспечивает заданный вакуум в конденсаторе турбины. Парога-

зовая смесь отсасывается эжекторами 5, деаэрированная химочищенная вода и конденсат откачиваются конденсатным насосом 6.

Вакуумные деаэраторы в схемах химводоочисток включают по-разному в зависимости от схем химводоочисток. Если в тракте химводоочистки вода не насыщается кислородом, то вакуумный деаэратор следует

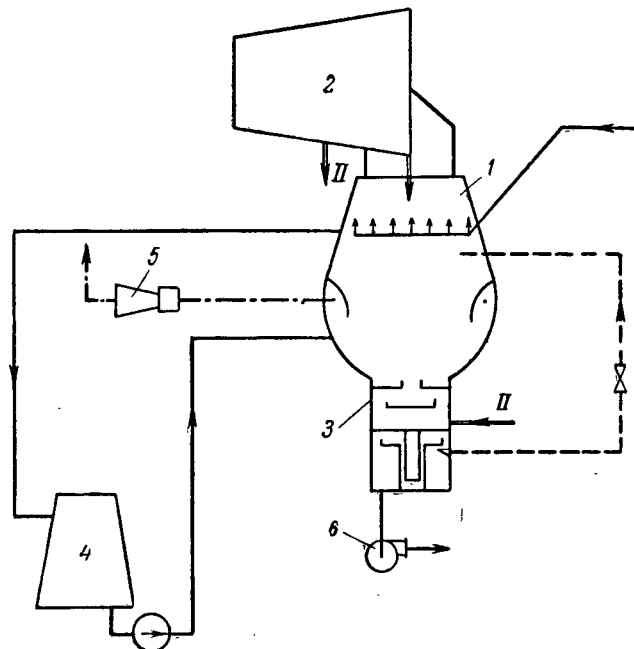


Рис. 24. Схема деаэрации химочищенной воды и конденсата пара в конденсаторе деаэраторным конденсатосборником.

устанавливать перед химводоочисткой, защищая ее оборудование и последующий тракт химочищенной воды. В этом случае деаэратор и охладитель выпара выполняют также функции подогревателя сырой воды и смесителя воды с коагулянт.

Процесс коагуляции в вакуумном деаэраторе улучшается вследствие хорошего смешения воды с коагулянт и энергичного удаления CO_2 из сферы реакции.

Вакуумный деаэратор перед химводоочисткой защищает оборудование химводоочистки и трубопроводы от

коррозии. Это предотвращает вынос продуктов коррозии в подогреватели и испарители, позволяет увеличить межрегенерационные периоды и удлинить срок службы анионитов и катионитов вследствие уменьшения их окисления и поглощения свободной углекислоты.

Допустимая температура воды после вакуумного деаэратора, устанавливаемого перед химводоочисткой, определяется ее типом. В настоящее время наиболее распространены химводоочистки с умягчением воды в Na- и H-катионитовых фильтрах, а также химвобессоливающие установки. Сульфуголь и ионнообменные смолы, применяемые в них, не допускают температуры воды выше 40°C .

Для деаэрации сырой воды перед химводоочистками указанных типов целесообразно применять «холодную» деаэрацию в вакууме либо обескислороживание путем продувки воды азотом на предприятиях, располагающих отбросным азотом, например на металлургических заводах, имеющих кислородные установки. В этих случаях температура воды перед химводоочисткой не повышается.

Если в схеме химводоочистки имеет место насыщение воды кислородом, вакуумный деаэратор устанавливают на выходе воды из химводоочистки.

На рис. 25 показано включение вакуумного деаэратора в схему химводоочистки с двухступенчатым Na-катионированием.

Сырая вода поступает в охладитель выпара 1, в котором частично дегазируется. Сюда же может подаваться коагулянт. Из охладителя выпара вода поступает в осветлители 2, затем на механические фильтры 3. Из фильтров вода поступает на вакуумный деаэратор 4, из которого насосом 6 прокачивается через первую 7 и вторую 8 ступени Na-катионирования. В качестве резервной емкости параллельно насосу 6 подключен бак 5.

В деаэратор подается пар; выпар из деаэратора поступает в охладитель 1, где подогревает сырую воду перед химводоочисткой. Парогазовая смесь из охладителя удаляется газоотсасывающим аппаратом 9.

Вакуумный деаэратор может работать и в качестве декарбонизатора в схемах химводоочисток с H-катионитовыми фильтрами. При этом в одном аппарате совмещены функции деаэратора и декарбонизатора. Мосэнер-

го проектом разработана химобессоливающая установка с использованием вакуумного деаэратора для обескислороживания и удаления CO_2 из Н-катионированной воды перед анионитовыми фильтрами.

Функции декарбонизатора для удаления CO_2 и O_2 могут быть осуществлены в одном аппарате также путем продувки воды азотом.

Для более полного удаления свободной углекислоты из воды при содержаниях ее свыше 200—300 мг/кг в схе-

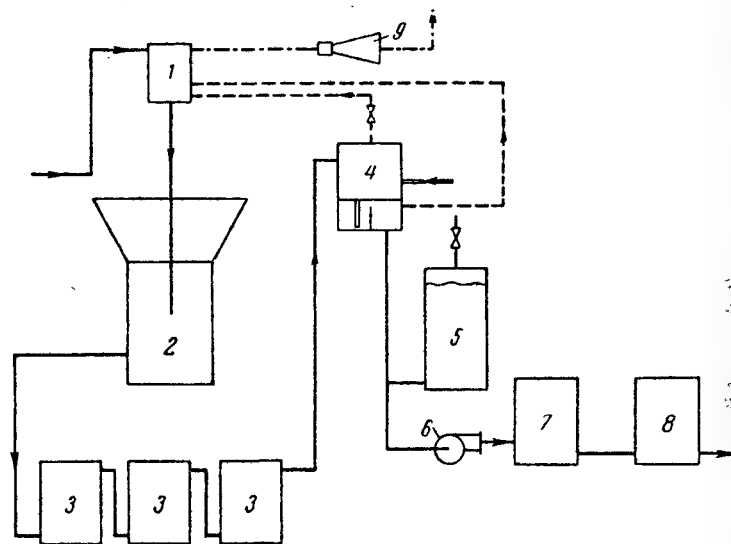


Рис. 25. Вакуумный деаэратор, включенный перед химводоочисткой.

мах химводоочисток с Н-катионитовыми фильтрами целесообразно установить декарбонизатор и вакуумный деаэратор последовательно. На рис. 26 приведена такая схема. Движение потока воды ясно из рисунка. Удаление коррозионно-агрессивных газов осуществляется в данной схеме в трех аппаратах. В охлаждающем выпаре 1 удаляются частично кислород и углекислота. В декарбонизаторе 4 удаляется в значительной мере углекислота, однако вновь происходит насыщение кислородом, так как в декарбонизаторе вода продувается воздухом. Наконец, в вакуумном деаэраторе 5 удаляются остатки углекислоты и кислород.

В некоторых схемах химводоочисток необходимо наряду с деаэрацией осуществить охлаждение воды. В этом

случае можно применить вакуумную деаэраторно-охладительную установку. Схема такой установки показана на рис. 27.

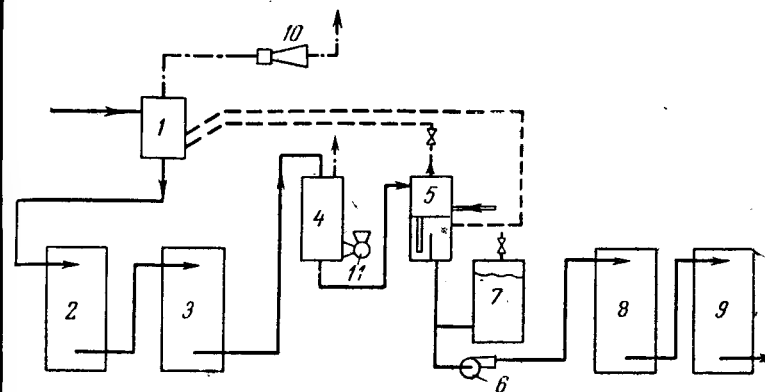


Рис. 26. Последовательное включение декарбонизатора и вакуумного деаэратора.

1 — охлаждающий выпар; 2 — Н-катионитовый фильтр первой ступени; 3 — Н-катионитовый фильтр второй ступени; 4 — декарбонизатор; 5 — вакуумный деаэратор; 6 — насос; 7 — резервная емкость; 8 — Н-катионитовый фильтр первой ступени; 9 — Н-катионитовый фильтр второй ступени; 10 — газотсасывающий аппарат; 11 — вентилятор.

Сырая вода подается в качестве охлаждающей в конденсатор 1 паровой турбины, работающей на ухудшенном вакууме. Нагретая до заданной температуры, вода подается в доломитовые ответвители 2, в которых осуществляется ее обескремнивание. Из осветлителей вода

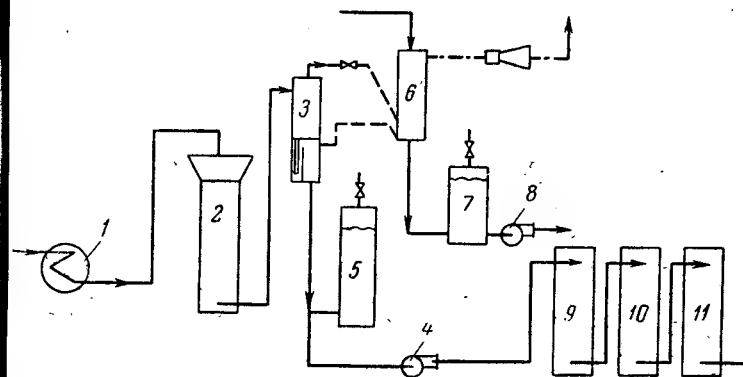


Рис. 27. Схема включения вакуумной деаэраторно-охладительной установки.

под действием вакуума поступает в вакуумный деаэратор 3, в котором вскипает в двух или трех ступенях. При этом осуществляются деаэрация и охлаждение воды. Выпар отводится в охладитель выпара 6, в котором охлаждается водой, имеющей температуру ниже температуры деаэрированной воды. Вода из охладителя, подогретая и частично дегазированная, поступает в бак 7, из которого откачивается насосом 8 и подается на производственные нужды.

Охлажденная деаэрированная вода подается насосом 4 на механические фильтры 9, затем на Na-катионитовые фильтры первой ступени 10 и второй ступени 11. Параллельно насосу 4 включена резервная емкость 5.

Величина охлаждения деаэрированной воды в установке в основном зависит от количества и температуры воды, поступающей на охладитель выпара.

Включение вакуумного деаэратора в тепловую сеть может осуществляться по различным схемам. При деаэрации подпитки в тепловой сети без водоразбора применяются вакуумные деаэраторы с непосредственным смешением воды и пара в колонке либо в подогревателе, так как абсолютные размеры добавка и, следовательно, потери конденсата невелики.

При деаэрации подпиточной воды тепловых сетей с открытым водоразбором потери конденсата пара составляют значительную величину. Поэтому подогрев подпиточной воды перед деаэратором целесообразно осуществлять в поверхностных подогревателях. В этом случае не теряется конденсат пара.

В схемах ступенчатого подогрева сетевой (подпиточной) воды или воды, идущей на промышленное потребление, вакуумный деаэратор устанавливается до или после подогревателей. Глубина вакуума зависит от температуры воды. Поэтому в первом случае нужен более глубокий вакуум в деаэраторе, однако при этой схеме защищаются от коррозии подогреватели. Во втором случае нужен менее глубокий вакуум в деаэраторе, однако подогреватели оказываются не защищенными от коррозии.

Рассмотрим одну из схем включения вакуумного деаэратора сетевой воды в схему теплофикационной турбины. Эта схема применяется, если в открытых баках-аккумуляторах не удастся обеспечить надежную защиту переменного уровня воды от насыщения кислородом. В этом случае устанавливают резервные емкости

перед вакуумным деаэратором. Производительность деаэратора должна быть рассчитана на максимальную величину добавка в тепловую сеть. Наличие резервных емкостей позволяет работать с постоянной производительностью деаэратора.

Включение вакуумного деаэратора с резервными емкостями, расположенными перед ним, в схему теплофикационной турбины показано на рис. 28.

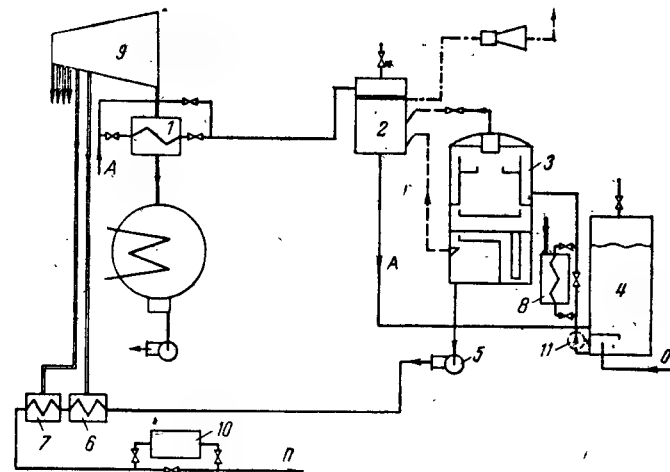


Рис. 28. Вакуумная деаэраторная установка сетевой воды в схеме теплофикационной турбины.

В этой схеме обратная сетевая вода О поступает в бак-аккумулятор 4. Туда же поступает подпиточная вода А. Предварительно она проходит поверхностный охладитель 1 выхлопного пара турбины 9 и смешительный охладитель выпара 2. Из последнего вода поступает в бак-аккумулятор самотеком. Вода из бака-аккумулятора всасывается в вакуумный деаэратор 3. Режим вакуумного деаэратора устанавливается таким, чтобы температура смеси обратной воды и подпитка была выше температуры кипения в деаэраторе. Если температура обратной воды окажется ниже расчетной, включается поверхностный подогреватель 8 (в этом случае может потребоваться насос 11). Пар на подогреватель подается из соответствующего отбора турбины.

Деаэрированная вода из деаэратора поступает на всас сетевого насоса 5, который подает ее через сетевые

подогреватели 6 и 7 по магистрали II в тепловую сеть. Если требуется более высокий нагрев, вода проходит также пиковый водогрейный котел 10.

Выпар из вакуумного деаэратора поступает в охладитель выпара, в котором конденсируется, нагревая подпиточную воду. Подпиточная вода в охладителе выпара частично деаэрируется.

В рассматриваемой схеме обратная сетевая вода поступает в аккумуляторные баки и заполняет их в периоды, когда расход горячей воды из тепловой сети ниже средней величины подпитки. Когда расход горячей воды больше количества добавляемой воды, запас воды в баках-аккумуляторах уменьшается.

В этой схеме наиболее благоприятны условия работы теплофикационной турбины, так как отборы пара из нее благодаря наличию бака-аккумулятора и пикового водогрейного котла могут оставаться постоянными в течение суток.

С. Ф. Копьевым и Б. М. Хлыбовым разработаны схемы и конструкции вакуумных деаэрационных установок небольшой производительности для подпитки водогрейных котельных и водяных систем теплоснабжения с закрытым и открытым водоразбором.

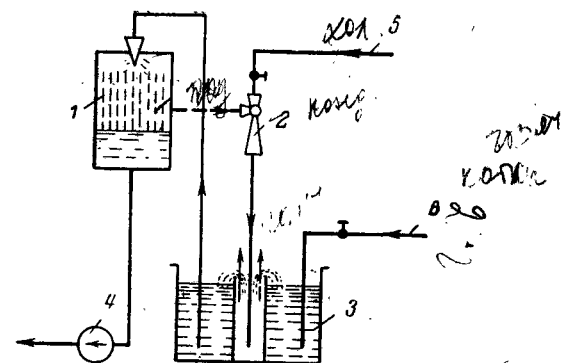
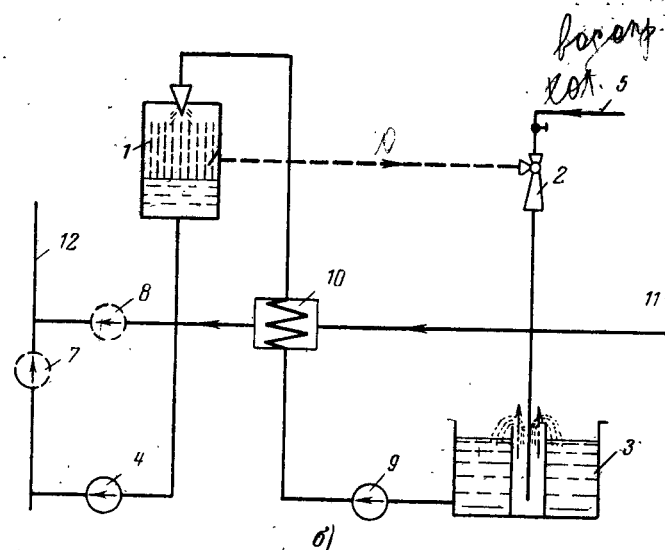
Особенность водогрейных котельных состоит в том, что в них нет источника пара, необходимого для питания деаэратора.

Для систем теплоснабжения с малой относительной величиной подпитки применимы схемы со значительным подогревом воды перед деаэратором. Вода, поступающая в деаэратор, подогревается до температуры выше 50°C .

Для вскипания воды с такой температурой необходимо сравнительно неглубокий вакуум. Он может быть обеспечен водоструйным эжектором, работающим на водопроводной воде давлением 2—2,5 бар, с расходом рабочей воды на эжектор, равным расходу воды на деаэрактор.

Применение водоструйного эжектора позволяет отказаться от охладителя выпара, так как эжектор служит струйным конденсатором.

Подогрев деаэрируемой воды осуществляется путем смешения холодной воды с горячей водой из котлов (рис. 29,а) либо путем ее нагрева в поверхностном водоводяном подогревателе (рис. 29,б).

 α 

0.

Рис. 29. Вакуумная деаэраторная установка для водогрейных котельных.

а — подогрев воды смешением; б — подогрев воды в поверхностном подогревателе.

1 — деаэратор; 2 — водоструйный эжектор; 3 — питательный бак; 4 — подпиточный насос; 5 — водопровод; 6 — горячая вода; 7 — циркуляционный насос; 8 — подмешивающий насос; 9 — питательный насос; 10 — водоводный подогреватель; 11 — подающая магистраль; 12 — обратная магистраль.

В схеме рис. 29,а горячая вода 6 подается в питательный бак 3, в котором смешивается с холодной подпиточной водой 5. Смесь холодной и горячей воды всасывается в вакуумный деаэратор 1. Деаэрированная вода откачивается насосом 4.

Выпар и газы из деаэратора отсасываются водоструйным эжектором 2, работающим на холодной водопроводной воде 5. При смешении с холодной водой выпар конденсируется. Газы удаляются в атмосферу из питательного бака, куда сливается вода из эжектора.

В схеме 29,б вода из питательного бака подается в деаэратор насосом 9, так как сопротивление водоводяного подогревателя 10 может не обеспечить всасывания воды в деаэратор за счет вакуума. В подогревателе 10 подпиточная вода, идущая на деаэрацию, подогревается водой, отбираемой из подающей магистрали 11 тепловой сети.

В системах с большим подпитком (системы с непосредственным водоразбором, прямоточные системы горячего водоснабжения) применяются схемы с пароструйным эжектором (рис. 30,а). Пар, необходимый для эжектора, получают путем предварительного испарения отбираемой из котлов горячей воды 7 в испарителе 2. Вода из испарителя поступает в деаэратор. Водоструйный эжектор 4 является в этой схеме второй ступенью сжатия отсасываемых газов. Применение двухступенчатого сжатия газов позволяет получить в деаэраторе более глубокий вакуум и, следовательно, сократить расход горячей воды из системы на деаэрацию.

Недостатком рассмотренных схем является параллельный ток воды и газов в деаэраторе. Производительность водоструйных эжекторов зависит от давления в водопроводе. Количество деаэрируемой воды связано с количеством воды, поступающей в водоструйный эжектор.

Вакуумная деаэрационная установка, показанная на рис. 30,б более сложна, однако в ней отсутствуют указанные недостатки. Водоструйный эжектор работает здесь на деаэрированной воде, что увеличивает его производительность по отсасываемым газам и позволяет получить более глубокий вакуум в деаэраторе. Рециркуляционная линия 12 обеспечивает постоянное давление воды перед водоструйным эжектором.

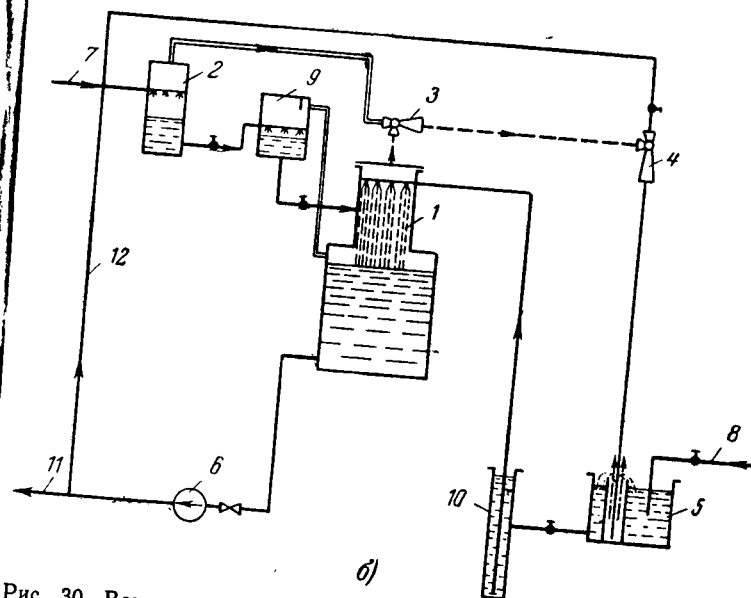
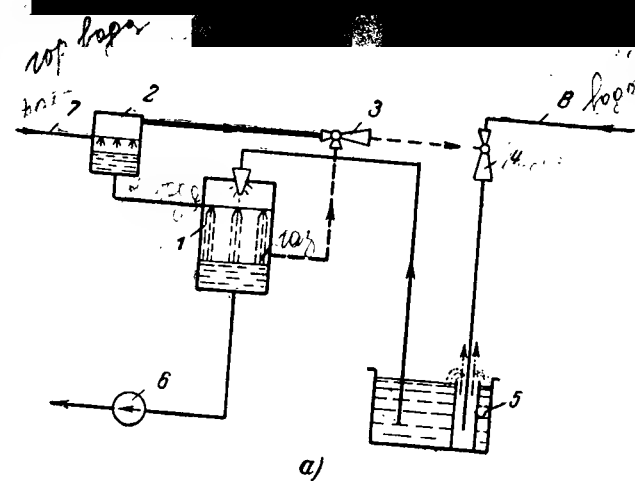


Рис. 30. Вакуумная деаэрационная установка для водогрейной котельной с двухступенчатым сжатием газов.
а — с одной ступенью испарения; б — с двумя ступенями испарения и рециркуляцией.
1 — деаэратор; 2 — испаритель первой ступени; 3 — пароструйный компрессор;
4 — водоструйный эжектор; 5 — питательный бак; 6 — подпиточный насос;
7 — горячая вода; 8 — водопровод; 9 — испаритель второй ступени; 10 — гидро-
затвор; 11 — подпитка; 12 — рециркуляция.

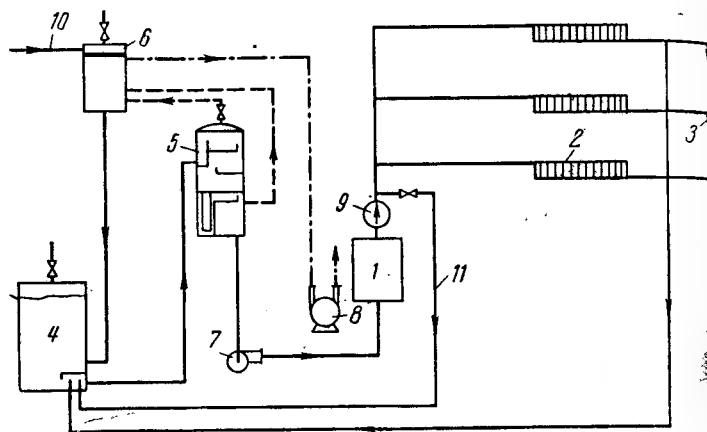


Рис. 31. Вакуумный деаэратор сетевой воды с питанием тепловой сети от водогрейного котла.

1 — водогрейный котел; 2 — отопительные приборы; 3 — открытый водоразбор; 4 — бак-аккумулятор; 5 — деаэратор; 6 — охладитель выпара; 7 — питательный насос; 8 — вакуум-насос; 9 — циркуляционный насос; 10 — подпиточная вода; 11 — резервная линия горячей воды.

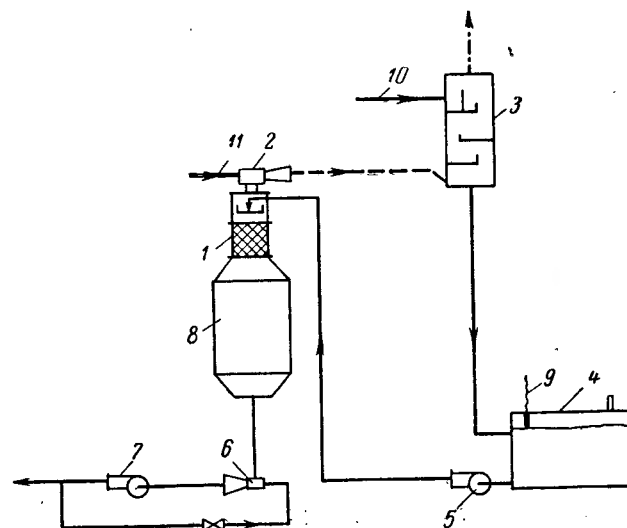


Рис. 32. Вакуумная деаэраторная установка Промэнерго.

1 — деаэраторная колонка с насадкой из колец Рашига; 2 — пароструйный эжектор; 3 — охладитель выпара; 4 — бак питательной воды; 5 — насос; 6 — водоструйный эжектор; 7 — питательный насос; 8 — бак-аккумулятор; 9 — возврат конденсата; 10 — добавка химочищенной воды; 11 — пар на эжектор.

Заслуживает внимания схема, показанная на рис. 31. Вся сетевая вода в смеси с подпиткой деаэрируется. Аккумулирующие емкости находятся перед вакуумным деаэратором.

Промэнерго разработана вакуумная деаэраторная установка для промышленных котельных, показанная на рис. 32. Недостатком этой схемы является расположение пароструйного эжектора перед охладителем выпара. Эжектор отсасывает весь выпар. Это приводит к большому расходу рабочего пара на эжекторы и увеличению их числа при необходимости получить глубокую деаэрацию либо низкую температуру деаэрированной воды.

Для откачки воды из низко расположенных вакуумных деаэраторов в схеме Промэнерго применен водоструйный эжектор, подающий воду на всас питательных насосов. Рабочей водой для этого эжектора служит вода, отбираемая из нагнетательной линии насосов.

Испытание на заводе «Изолит» вакуумного деаэратора с насадкой из колец Рашига, выполненного по схеме Промэнерго, показало, что при температуре поступающей воды 80—90° С, вакууме 200—300 мм рт. ст. и начальном содержании кислорода в воде 0,3—1,5 мг/кг конечное содержание кислорода составило 0,05—0,08 мг/кг.

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

ВОПРОСЫ ИЗГОТОВЛЕНИЯ, МОНТАЖА И ЭКСПЛУАТАЦИИ ДЕАЭРАТОРНЫХ УСТАНОВОК

4-1. ИЗГОТОВЛЕНИЕ И МОНТАЖ

Аппараты вакуумной деаэраторной установки: деаэраторная колонка, бак-аккумулятор, охладитель выпара, представляют собой цилиндрические сосуды, работающие под вакуумом. Соответственно этому условию должна быть рассчитана толщина стенок аппаратов. При большом диаметре аппаратов предусматривают продольные и поперечные крепления стенок.

При диаметрах сосудов до 1,5 м днища можно выполнить плоскими, с усилением ребрами жесткости. При диаметрах больше 1,5 м следует применять сферические или конические днища.

Внутренние элементы аппаратов деаэраторной установки: тарелки, полки, крепления, изготавливаются из

нержавеющей стали либо из углеродистой стали с противокоррозийным покрытием. Внутренние поверхности корпуса и днищ аппаратов защищают противокоррозийным покрытием (противокоррозийный лак, эпоксидная смола и т. п.).

Тарелки и полки в деаэраторе и охладителе должны быть надежно укреплены во избежание обрыва под действием падающих струй и возможных гидравлических ударов. С этой целью к корпусу аппарата приваривается консоль из углового железа в виде кольца или дуги. На консоль устанавливают тарелку или полку и приваривают ее к корпусу аппарата и к уголку сплошным швом.

При изготовлении и монтаже деаэрационной колонки и охладителя выпара необходимо обращать внимание на то, чтобы внутри колонки и охладителя выпара не было загромождающих деталей. Для этого нижние кромки бортов полок не должны свисать ниже плоскости полок. Не допускают выступающие головки болтов на поверхности бортовых планок, анкерных связей, стяжек и т. п. Ребра жесткости полок не должны пересекать путь парового или водяного потоков.

Важнейшее требование, которое следует учитывать при проектировании, изготовлении и монтаже аппаратов деаэрационной установки, — отсутствие гидравлических и тепловых перекосов в аппаратах. В результате перекосов в деаэраторе повышаются остаточные содержания кислорода и свободной углекислоты в деаэрированной воде, а в охладителе выпара ухудшается охлаждение выпара.

Гидравлические и тепловые перекосы в аппаратах возникают вследствие неравномерного распределения по поперечному сечению потоков воды и пара. Неравномерное распределение потоков воды и пара происходит при негоризонтальной установке полок, тарелок и особенно бортовых планок, перекосах сливных отверстий и неточной центровке тарелок в корпусах аппаратов. Перекосы могут возникнуть также вследствие неправильных подводов воды и пара или неправильном отводе выпара, а также вследствие ошибок при монтаже. Так, например, если при монтаже не выдержана вертикальная установка деаэрационной колонки или охладителя выпара, в них возникает перекоп воды и пара. Гидравлические перекосы в вакуумных деаэраторах с дырчатыми тарелками

могут возникнуть при малых нагрузках, при которых вода сливается лишь на участках тарелок в местах поступления на них воды. Для предотвращения таких перекосов применяют тарелки с каскадным распределением воды по тарелкам.

Тарелки, полки и их борты должны быть установлены строго в плоскости поперечного сечения аппарата, т. е. перпендикулярно к его оси. При изготовлении вертикально стоящего аппарата целесообразно прикрепить к наружной цилиндрической поверхности корпуса два репера в виде планок с верхними строгаными плоскостями. Этими плоскостями реперы выставляются перпендикулярно к оси аппарата и затем привариваются к его корпусу. Располагают реперы в двух взаимно перпендикулярных направлениях. При монтаже вертикальная установка аппарата фиксируется рамочными уровнями, установленными на строганых плоскостях реперов. Если тарелки, полки и борты правильно собраны, то вертикальная установка аппарата обеспечивает горизонтальность этих внутренних элементов.

Гидравлический и тепловой перекосы могут возникнуть также в процессе эксплуатации деаэрационной установки при обрыве или разрушении полки или тарелки в деаэрационной колонке или охладителе выпара. В этом случае необходим своевременный ремонт.

Трубопроводы пара, воды и выпара должны быть возможно меньшей длины, с минимальным числом поворотов. Следует избегать крутых колен и «мешков». Паропроводы необходимо прокладывать с уклоном не менее 10 мм на погонный метр длины в сторону движения пара. Трубопроводы выпара на участке перед охладителем выпара должны иметь уклон в сторону движения не менее 40 мм. При работе охладителя выпара на технической воде во избежание случайного заброса воды из охладителя в деаэратор целесообразно устройство вертикального колена на трубопроводе выпара у входа в охладитель. Соединения трубопроводов вакуумной деаэрационной установки выполняются на стыковой сварке. Вес трубопроводов и усилия, возникающие в них вследствие температурных удлинений, не должны восприниматься аппаратами и насосами, к которым присоединены трубопроводы.

До монтажа аппараты и трубопроводы следует очистить от окалины и ржавчины, обезжирить и проверить

на плотность. По окончании монтажа и проверки на плотность аппараты и трубопроводы изолируют, если температура вода и пара в них превышает 45°C . Затем их окрашивают масляной краской соответствующего цвета.

Ряд особенностей накладывает работа оборудования деаэрационной вакуумной установки. Эти особенности, связанные с вакуумом, необходимо учитывать при изготовлении, монтаже и эксплуатации оборудования.

Воздушная плотность вакуумной деаэрационной установки является важнейшим условием ее нормальной эксплуатации.

Присосы воздуха могут происходить через фланцевые соединения, неплотные сварочные швы, места присоединения контрольно-измерительных приборов и элементов системы автоматического регулирования. Особенно большие присосы могут дать неплотные сальники штоков задвижек и вентилях, находящихся под вакуумом.

С целью уменьшения возможных присосов аппараты вакуумной деаэрационной установки выполняются цельносварными. Люки для осмотра и ремонта внутренних устройств не предусматриваются. При необходимости осмотра или ремонта в корпусе аппарата делают вырезы нужных размеров, которые затем заваривают. Для осмотров устраивают также смотровые трубы с заваренными торцами. При осмотрах торец трубы отрезают, затем заваривают.

Фланцевые соединения должны быть сведены к минимуму. Для прокладок фланцевых соединений, если температура менее 80°C , следует применять вакуумную резину. При температуре более 80°C прокладки фланцевых соединений изготавливают из паронита с графитовой смазкой. Для резьбовых соединений применяют лен с суриком.

Вентили, задвижки, регулирующие органы, по возможности должны быть установлены на участках трубопроводов, не находящихся под вакуумом. Если это не удастся, сальники штоков устраивают с водяным уплотнением. Способы подключения контрольно-измерительных приборов и отборов импульсов на регуляторы должны исключать возможность присосов.

После окончания монтажа и ремонта вакуумной деаэрационной установки проверяется ее плотность. Контроль плотности производится двумя способами: гидрав-

лическим испытанием и испытанием на скорость падения вакуума.

Гидравлическое испытание производится наполнением всей системы, работающей под вакуумом, холодной водой и созданием избыточного давления не более 1 бар в верхней части системы. Для удаления воздуха при заполнении водой в верхних точках системы устраивают воздушники.

Испытание на скорость падения вакуума производится следующим путем. В установке создается нормальный вакуум. Закрывают все вентили и задвижки, сообщающие установку с внешней средой, включая задвижку на всасе газоотсасывающего аппарата.

Отключают эжектор или вакуум-насос. Наблюдают за показаниями вакуумметра в течение 10—15 мин. Состояние воздушной плотности оценивается как хорошее, если скорость падения вакуума не превышает 3 мм рт. ст. в минуту, и как удовлетворительное, если скорость падения вакуума не превышает 5 мм рт. ст.

Клапаны вентилях и щеки задвижек, находящиеся в открытом положении при работе установки (на подаче пара, воды, на отводе воды и газов), должны быть тщательно притерты, чтобы присосы через них во время испытания на скорость падения вакуума не искажали представление о плотности системы. Если возможно, следует залить их водой при проверке вакуума.

Найденные места неплотностей устраняют: заваривают электросваркой, подтягивают сальники, фланцы, притирают клапаны вентилях и щеки задвижек, устраивают водяные уплотнения сальников. Найденные во время работы установки места присосов можно уплотнить свинцовым суриком. Сурик под действием вакуума засасывается в места неплотностей и заполняет их.

После устранения замеченных неплотностей повторяют гидравлическое испытание и контроль вакуума до тех пор, пока не будет выдержана норма на скорость падения вакуума.

Во время эксплуатации вакуумной деаэрационной установки следует периодически (один раз в 3—4 месяца) производить очистку и промывку колонки и бака-аккумулятора от шлама. Целесообразно также устройство шламоотделителя, включенного между баком и откачивающим насосом.

4-2. ЭКСПЛУАТАЦИЯ, КОНТРОЛЬ И РЕГУЛИРОВАНИЕ

Главная задача эксплуатации вакуумной деаэрационной установки — поддержание оптимального режима работы, обеспечивающего глубокую деаэрацию воды.

Показателями, определяющими выбор режима работы деаэратора, являются: заданное остаточное содержание кислорода в воде, температура исходной воды и требуемая температура деаэрированной воды.

Основными параметрами, с помощью которых устанавливается режим работы вакуумного деаэратора, являются: вакуум, недогрев деаэрированной воды до температуры кипения (в колонках с нагревом воды), перегрев поступающей воды (в колонках перегретой воды) и количество выпара.

Величина вакуума не играет решающей роли в отношении глубины деаэрации воды и устанавливается в зависимости от температурных условий и технических возможностей газотсасывающего аппарата.

Что касается значения глубины вакуума, то можно отметить следующее. Дегазация воды с углублением вакуума замедляется. Это связано с замедлением выделения газов из воды путем диффузии вследствие понижения температуры при углублении вакуума. Однако углубление вакуума в деаэраторе уменьшает расход пара на нагрев воды в деаэрационной колонке вследствие снижения температуры деаэрированной воды. При неизменном расходе пара его больше идет в выпар, а это улучшает процесс деаэрации. При углублении вакуума в деаэраторе перегретой воды увеличивается величина перегрева, что улучшает деаэрацию. Повышение вакуума приводит к увеличению удельных объемов пара в деаэраторе. Это ведет к усилению турбулизации потока воды потоком пара, что также улучшает деаэрацию. В результате практически при любой величине вакуума может быть достигнута глубокая деаэрация воды.

Для осуществления глубокой деаэрации в колонке с подачей пара в нее необходимо добиваться минимальной величины недогрева воды до температуры кипения.

На графике (рис. 33) показана полученная нами по данным опытов зависимость остаточного содержания кислорода в деаэрированной воде от величины недогрева ее до температуры кипения. Эта зависимость относится к струйным вакуумным деаэраторам с противоточно-перекрестной схемой движения воды и пара, рабо-

тающим при нагрузках 30—90 т/м²·ч, абсолютном давлении в деаэраторах 0,08—0,12 бар и начальном содержании кислорода в воде 6—10 мг/кг.

Из графика видно, что уменьшение величины недогрева воды приводит к снижению остаточного кислорода в деаэрированной воде.

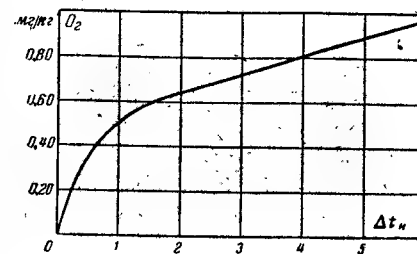


Рис. 33. Зависимость остаточного содержания кислорода в деаэрированной воде от величины недогрева ее до температуры кипения.

Так, при недогреве воды 4°С содержание кислорода в деаэрированной воде составляет 0,80 мг/кг; при недогреве 0,1°С соответственно 0,05 мг/кг.

Характер влияния выпара на глубину обескислороживания воды в струйном вакуумном деаэраторе при абсолютном давлении

в нем 0,1—0,2 бар виден из графика на рис. 34. Как правило, при увеличении выпара из колонки остаточное содержание кислорода в деаэрированной воде уменьшается. При увеличении выпара от 0 до 10 кг на тонну воды содержание кислорода в воде быстро падает. При дальнейшем увеличении выпара снижение содержания кислорода в воде замедляется. Отметим, что в согласии с графиком при выпаре

10—12 кг/т содержание O₂ в воде из колонки 0,12—0,13 мг/кг. Так как в баке-аккумуляторе дополнительное снижение O₂ в воде составляет 0,03—0,10 мг/кг, то при указанных величинах выпара содержание O₂ на выходе из деаэратора составит в среднем 0,05 мг/кг.

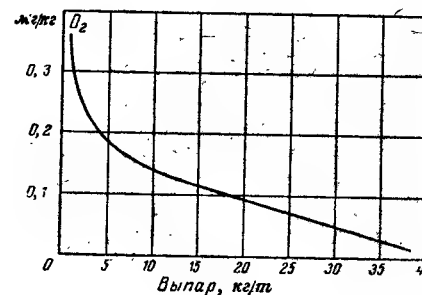


Рис. 34. Зависимость содержания кислорода в деаэрированной воде на выходе из колонки от выпара.

Нагрев воды по ступеням сильно меняется в зависимости от выпара. При малом выпаре нагрев воды на верхних ступенях незначителен. Вода нагревается в основном на нижних ступе-

нях. С ростом выпара картина нагрева воды по ступеням колонки меняется, нагрев воды перемещается от нижних ступеней к верхним, и тогда на верхних ступенях вода нагревается больше, чем на нижних. Это вполне объяснимо. С увеличением выпара растут количество пара и температурный напор на верхних ступенях, одновременно растет коэффициент теплоотдачи от пара к воде. Выпар влияет на недогрев воды. Недогрев воды Δt_n в нижней части колонки при выпаре около нуля составляет $3-4^\circ\text{C}$, при увеличении выпара до 10 кг/т Δt_n снижается до $0,3-0,5^\circ\text{C}$.

Таким образом, выпар — избыток пара, подаваемого в колонку, — является средством изменения температурного режима деаэрационной колонки, благодаря чему изменение расхода выпара служит способом регулирования работы деаэрационной колонки. Непременным условием такого регулирования является наличие охладителя выпара достаточной производительности.

Следует отметить, что атмосферные деаэраторы работают с выпаром $2-3\text{ кг/т}$ воды. В вакуумных деаэраторах выпар должен быть не менее 10 кг/т . Необходимость большего выпара в вакуумных деаэраторах диктуется, кроме указанных выше соображений, следующим: для быстрого отвода газов, выделяющихся из воды, требуется достаточно мощный несущий поток пара. Плотность пара в условиях вакуума в $8-12$ раз меньше, чем при атмосферном давлении. Массовый расход пара прямо пропорционален плотности пара. Поэтому для обеспечения хорошей вентиляции в вакуумных деаэраторах требуется массовый расход выпара по крайней мере в $3-4$ раза больший, чем в атмосферных деаэраторах.

Существенное значение имеет величина нагрева воды в колонке, определяющая совместно с величиной выпара расход пара на деаэратор. Чем больше пара подается в колонку, тем интенсивнее идет дробление воды потоком пара и, следовательно, быстрее протекает процесс дегазации. Исходя из этого, нагрев воды в вакуумных деаэраторах с подачей пара в них должен составлять не менее 10°C .

Рассмотрим вопрос о гидродинамическом режиме работы деаэрационной колонки. При увеличении скорости движения пара в колонке может наступить момент, когда поток пара подвешивает воду, препятствуя ее движению вниз колонки, и тогда деаэрационная колонка заполняет-

ся по всему сечению водой. Образуется водяная пробка. По мере накопления воды вес ее становится больше динамического напора пара, в результате вода проваливается вниз колонки. Образование водяных пробок и их провалы сопровождаются гидравлическими ударами и нарушением работы колонки. Такое явление предельного режима наблюдается главным образом в нижней части колонки, где скорость пара наибольшая, а следовательно, и динамический напор пара также наибольший. Предельная скорость пара зависит от давления.

С увеличением давления

предельная скорость уменьшается. Это объясняется тем, что динамический напор $\omega^2_{\text{п}}\gamma''$ пропорционален абсолютному давлению пара p , поэтому увеличение последнего требует снижения скорости пара $\omega_{\text{п}}$.

При средних условиях $p_{\text{абс}}=0,07-0,13\text{ бар}$ предельная скорость пара в нижней части колонки, отнесенная к полному сечению, составляет $15-30\text{ м/сек}$, а гидравлическая нагрузка (плотность орошения) — $60-35\text{ т/м}^2\cdot\text{ч}$.

На рис. 35 приведен график предельных гидродинамических режимов в линейно-струйной вакуумной деаэрационной колонке по данным наших опытов. На оси ординат графика отложены гидравлические нагрузки колонки d , $\text{т/м}^2\cdot\text{ч}$, отнесенные к горизонтальным сечениям для прохода пара. На оси абсцисс отложены динамические напоры пара $\omega^2_{\text{п}}\gamma''$, $\text{н/м}\cdot\text{сек}^2$ в тех же сечениях. Из графика видно, что предельно допустимая гидравлическая нагрузка колонки уменьшается с повышением динамического напора пара.

В предельных режимах струи воды выносятся потоком пара в центральные отверстия полок или кольцевые зазоры между бортом полки и корпусом колонки. Так как скорость пара в этих местах наибольшая, то здесь и образуются в первую очередь подвешенные водяные пробки. Область графика выше линии предельных режимов относится к неустойчивым режимам, сопровож-

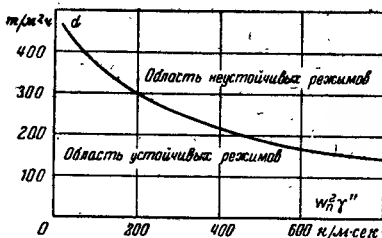


Рис. 35. График предельных гидродинамических режимов в струйной вакуумной деаэрационной колонке. Давление в колонке $p_{\text{абс}}=0,05-0,3\text{ бар}$.

дающимся образованием и провалом водяных пробок, а также гидроударами. Область ниже линии предельных режимов относится к устойчивым в гидродинамическом отношении режимам.

Следует отметить, что наиболее благоприятным режимом с точки зрения качества деаэрации является режим, близкий к предельному. В этом случае струи воды подвергаются сильному дроблению, движение воды становится струйно-капельным, поверхность контакта воды с паром увеличивается. В результате происходит более глубокая деаэрация воды.

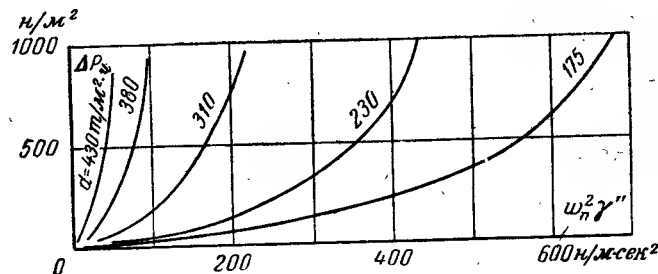


Рис. 36. Изменение гидравлического сопротивления ступени струйной вакуумной деаэрационной колонки в зависимости от различных значений d и $w_{п}^2 \gamma''$. Давление в колонке $p_{абс} = 0,05 \div 0,3$ бар.

Сопротивление ступени струйной вакуумной деаэрационной колонки в околопредельных режимах составляет 500—700 н/м^2 (50—70 мм вод. ст.). Изменение сопротивления ступени колонки в зависимости от различных значений гидравлической нагрузки d и динамического напора пара $w_{п}^2 \gamma''$ показано на графике рис. 36. Из графика видно, что сопротивление ступени растет с увеличением гидравлической нагрузки и динамического напора пара.

Гидравлическая нагрузка (плотность орошения) деаэрационной колонки связана с ее тепловой производительностью. Тепловой производительностью деаэрационной колонки называют суммарное количество тепла, расходуемое на нагрев воды и уходящее с выпаром.

Зависимость гидравлической нагрузки от величины нагрева воды в колонке и давления в ней по данным опытов дает график рис. 37. График построен при выпарах из колонки 8—10 кг/т . Из графика видно, что с уве-

личением нагрева воды в деаэрационной колонке уменьшается допустимая величина гидравлической нагрузки. С повышением вакуума допустимая гидравлическая нагрузка также уменьшается. Например, при увеличении нагрева воды от 5 до 25°С допустимая гидравлическая нагрузка свободных сечений уменьшается от 310 до

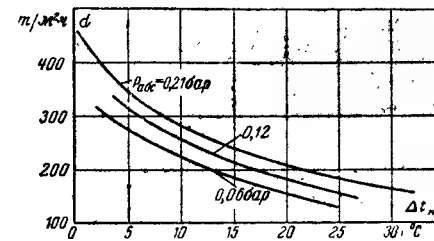


Рис. 37. Зависимость гидравлической нагрузки колонки от величины нагрева воды в ней Δt_k при различных давлениях.

160 $\text{т/м}^2 \cdot \text{ч}$ (при давлении 0,12 бар). При понижении давления от 0,21 до 0,06 бар допустимая гидравлическая нагрузка снижается с 250 до 190 $\text{т/м}^2 \cdot \text{ч}$ (при нагреве воды на 15°С).

Как видим, гидродинамический режим работы деаэратора имеет не менее важное значение, чем тепловой режим. В зависимости от гидродинамического режима устанавливаются предельные нагрузки деаэратора по воде и пару.

Эффективность работы деаэратора перегретой воды определяется величиной перегрева воды. Чем больше перегрев, тем интенсивнее протекает процесс вскипания, следовательно, быстрее идет деаэрация воды. Количество образующегося при вскипании выпара пропорционально величине перегрева воды. Содержание O_2 в деаэрируемой воде в основном зависит от выпара (величины перегрева) и глубины вакуума (абсолютного давления

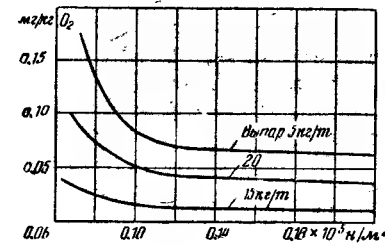


Рис. 38. Содержание кислорода в деаэрированной воде при различных выпарах и давлениях (работа колонки на перегретой воде).

в деаэрационной колонке). Эта зависимость показана на рис. 38.

С увеличением давления в колонке до 0,06—0,12 бар при одном и том же выпаре содержание O_2 в деаэрированной воде понижается. Объясняется это тем, что с увеличением давления повышается температура воды и увеличивается скорость десорбции газов из воды. Увеличение выпара (перегрева воды) также приводит к снижению содержания газов в деаэрированной воде. Опыт показал, что оптимальный перегрев поступающей воды составляет 6—10°С при давлениях 0,1—0,3 бар.

При ступенчатом срабатывании перегрева в двух или трех ступенях величина перегрева, срабатываемая в каждой из ступеней, постепенно увеличивается от первой ступени к последней. Это обеспечивается соответствующим соотношением сечений трубопроводов, отводящих выпар из ступеней в охладитель. Ступенчатое срабатывание перегрева обеспечивает более глубокую деаэрацию по сравнению с одноступенчатым.

В гидродинамическом отношении процесс в вакуумном деаэраторе перегретой воды более устойчив, чем в деаэраторе с нагревом воды. Сопротивление колонки на режиме перегрева невелико, так как сравнительно невелико количество пара, движущегося по колонке.

Большое значение для нормальной работы вакуумной деаэрационной установки имеет режим охладителя выпара. Его тепловая производительность должна быть на 20—30% больше максимального количества тепла, вносимого в охладитель выпара. Это обеспечит при колебаниях нагрузки устойчивую в тепловом и гидродинамическом отношении работу установки.

Температура уходящей из охладителя воды должна быть на 5—6°С ниже температуры кипения, соответствующей давлению в охладитель. Чем выше температура уходящей воды, тем меньше расход воды на охладитель выпара. Температура отходящей из охладителя остаточной парогазовой смеси должна превышать температуру поступающей в него охлаждающей воды не более чем на 6—8°С. Чем ниже температура отсасываемой из охладителя парогазовой смеси, тем меньше нагрузка на газоотсасывающие аппараты.

Ровная, устойчивая работа газоотсасывающих аппаратов определяет устойчивость режима деаэрации. Ва-

куум, создаваемый эжектором или вакуум-насосом, должен сохраняться практически постоянным при колебаниях нагрузки.

Параметры работы газоотсасывающих аппаратов — давление и температура воды, подаваемой в вакуум-насос, давление рабочего пара на пароструйный эжектор или воды перед водоструйным эжектором и пр. — должны обеспечивать постоянство создаваемого вакуума.

В режимах «холодной» деаэрации необходим как можно более глубокий вакуум, ибо только от него зависят парциальные давления газов над водой и, следовательно, минимально возможные содержания их в деаэрированной воде. Вместе с тем углубление вакуума уменьшает недогрев воды до температуры кипения в деаэраторе, что также повышает качество деаэрации.

Итак, режим «холодной» деаэрации определяется глубиной вакуума в деаэраторе. При рециркуляционной схеме «холодной» деаэрации имеет значение кратность рециркуляции. Оптимальное значение ее по данным опытов находится в пределах 3—4.

Контроль за работой вакуумной деаэрационной установки ведется по показаниям измерительных приборов.

Основными показателями работы деаэратора являются содержание кислорода и свободной углекислоты в деаэрированной воде. Отбор проб воды на химический анализ берется из нагнетательной трубы откачивающего насоса. Для определения содержания кислорода в деаэрированной воде применяется индигокарминовый метод химического анализа, если O_2 меньше 0,2 мг/кг, либо метод ГИПХ, если O_2 меньше 0,05 мг/кг. Для определения содержаний кислорода в воде, поступающей на деаэрацию, при O_2 больше 0,2 мг/кг применяется метод Винклера либо иодометрический способ с тройным отбором. Определение содержаний свободной углекислоты выполняется титрованным раствором едкого натра в присутствии фенолфталеина.

Для определения содержаний O_2 и CO_2 в воде в промежуточных точках деаэратора (при наладке или испытаниях) необходим отбор проб воды под вакуумом. Наиболее удобно и надежно отбирать пробу воды в склянку с двумя штуцерами — внизу и сверху ее. Нижний штуцер склянки подключается к месту отбора вакуумной резиновой трубкой. Верхний штуцер присоединяется к всасывающей линии вакуум-насоса. На трубках име-

ются зажимы. В процессе прокачки воды через склянку наблюдают, чтобы в ней отсутствовали пузырьки газов. После достаточно длительной прокачки склянку отключают, опускают в бачок под уровень деаэрированной воды одинаковой температуры с пробой и выполняют анализ.

Таким образом, например, проверяется сходимость анализов воды, отобранной до и после откачивающего насоса. Если анализы совпадают, следовательно, присосов воздуха в насосе нет. При температуре воды, отбираемой на химанализ, выше 30°С отборники проб снабжаются холодильниками.

В автоматизированной вакуумной деаэрационной установке содержание кислорода и свободной углекислоты в деаэрированной воде не служит объектом постоянного контроля. Соблюдение установленных температур, вакуума и расхода пара обеспечивает оптимальный режим деаэрации и, следовательно, минимально возможное содержание газов деаэрированной воде. Если случится «проскок» кислорода, то периодическим анализом он обычно не обнаруживается. Поэтому нет необходимости в систематическом химическом анализе на содержание O_2 и CO_2 в деаэрированной воде. Достаточно производить 2—3 раза в сутки контрольные анализы.

Непрерывный контроль за качеством деаэрированной воды может быть осуществлен при помощи самопишущего кислородомера. Однако точность показаний существующих кислородомеров в области малых содержаний кислорода (<200 мкг/кг) невысока. Поэтому они могут служить только для определения «проскоков» кислорода свыше 200 мкг/кг.

Для полного эксплуатационного контроля работы вакуумной деаэрационной установки необходимо измерение следующих параметров:

- температур поступающей воды, деаэрированной воды и воды из охладителя пара;

- давлений греющего пара, поступающей воды, деаэрированной воды;

- гидравлического сопротивления деаэрационной колонки;

- вакуума внизу колонки и на всасе вакуум-насоса (эжектора);

- расходов греющего пара, пара и деаэрированной воды;

уровней в баке-аккумуляторе и в питательном баке с сигнализацией предельных верхних и нижних уровней.

Для поддержания постоянного режима работы вакуумной деаэрационной установки, и, следовательно, обеспечения минимального содержания газов в деаэрированной воде установка оснащается автоматическими регуляторами.

Автоматически регулируется подача воды в деаэрактор. Импульс на регулятор берется от уровня воды в баке-аккумуляторе. Для выравнивания гидравлической нагрузки деаэрактора регулятор подачи воды должен обладать широкой зоной регулирования, т. е. позволять использовать в определенных пределах запас воды в баках-аккумуляторах. Однако при любых режимах работы деаэрактора разность предельных уровней в баке-аккумуляторе не должна превышать 0,5 м.

Основным регулятором, обеспечивающим оптимальный режим работы деаэрационной колонки с подачей пара в нее, является регулятор расхода пара в деаэрационную колонку, действующий от импульса по расходу пара из колонки.

Выпар из колонки является наиболее чувствительным параметром, учитывающим все отклонения в режиме вакуумного деаэрактора. Изменения расхода воды, поступающей в колонку, ее температуры, а также вакуума в колонке при изменении условий работы газоотсасывающих устройств, ухудшении плотности системы и др. немедленно отражаются на величине выпара из деаэрационной колонки. Определенным расходом воды и пара при данном вакууме соответствует определенная оптимальная величина выпара, так что оптимальная величина выпара определяет оптимальный тепловой и гидродинамический режим деаэрационной колонки и наилучшие условия деаэрации.

Для надежности работы регулятора пара следует настроить его работу на поддержание постоянного расхода пара из колонки, соответствующего оптимуму при максимальной нагрузке деаэрактора. Тогда при колебаниях нагрузки колонки, температуры поступающей воды и вакуума из колонки будет идти постоянное количество выпара, обеспечивающее требуемое качество деаэрации на всем диапазоне нагрузок.

Импульс на регулятор подачи пара в колонку поступает от расходомера выпара. Потеря давления на

выше атмосферного). Для защиты деаэратора от подъема давления и переполнения устраивают гидрозатвор, подключенный к верхней точке бака-аккумулятора.

Следует отключить установку также при прекращении подачи пара, в противном случае будет испорчена деаэрированная вода в баках-аккумуляторах вследствие смешения ее с недеаэрированной водой. Для этого нужно предусмотреть автоматическое отключение либо сигнализацию. Необходимо предусмотреть также сигнализацию аварийного срыва вакуума.

Приборы контроля и автоматического регулирования группируются на щите, в удобном для наблюдения месте.

0,2
1,2 атм - 0,12 МПа
1 атм - X

0,12 1,2
0,12 1,2
0,1

-(.) + (-.) η

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

ПЕРЕВОД ЕДИНИЦ ИЗМЕРЕНИЯ МЕЖДУНАРОДНОЙ СИСТЕМЫ (СИ) В ДРУГИЕ ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЯ

Сила 1 н = 0,102 кг.

Давление 1 н/м² = 0,102 кг/м² = 0,102 · 10⁻⁴ ат = 0,102 мм вод. ст. = 0,0075 мм рт. ст. = 10⁻⁵ бар.

1 кн/м² = 1000 н/м² = 0,001 Мн/м² = 0,0102 кг/см² = 0,0102 ат = 0,01 бар.

1 бар = 1,02 кг/см² = 1,02 ат = 10 200 мм вод. ст. = 750 мм рт. ст. = 10⁵ н/м².

Количество теплоты 1 кдж = 1000 дж = 1000 н · м = 1 квт · сек = 0,278 · 10⁻³ квт · ч = 102 кг · м = 0,239 ккал.

Тепловой поток, мощность 1 квт = 1000 вт = 1 кдж/сек = 3 600 кдж/ч = 860 ккал/ч = 367 100 кг · м/ч = 0,239 ккал/сек.

Энтальпия 1 кдж/кг = 0,278 · 10⁻³ квт · ч/кг = 0,239 ккал/кг.

Массовая теплоемкость 1 кдж/(кг · град) = 0,239 ккал/(кг · град).

Коэффициент теплопроводности 1 квт/(м · град) = 860 ккал/(м · ч · град).

Коэффициенты теплопередачи и теплоотдачи 1 квт/(м² · град) = 860 ккал/(м² · ч · град).

Коэффициент динамической вязкости 1 н · сек/м² = 0,102 кг · сек/м².

Коэффициенты кинематической вязкости 1 м²/сек = 10⁴ см²/сек (ст) = 10⁶ мм²/сек (сст).

Коэффициент поверхностного натяжения 1 н/м = 0,102 кг/м.

Температура по международной шкале T, °К.

Температура по столбчатой шкале (шкала Цельсия) t, °С. T = t + 273,15.

ПЕРЕВОД НЕКОТОРЫХ ЕДИНИЦ ИЗМЕРЕНИЯ В МЕЖДУНАРОДНУЮ СИСТЕМУ ЕДИНИЦ (СИ)

Сила 1 кг = 9,81 н

Давление 1 кг/м² = 1 мм вод. ст. = 0,07356 мм рт. ст. = 10⁻⁴ кг/см² = 10⁻⁴ ат = 9,81 н/м² = 9,81 · 10⁻⁵ бар.

1 кг/см² = 1 ат = 735,6 мм рт. ст. = 98,1 кн/м² = 0,981 бар.

1 мм рт. ст. = 13,6 кг/м² = 13,6 мм вод. ст. = 1,36 × 10⁻³ ат = 133,3 н/м² = 1,333 · 10⁻³ бар.

Количество теплоты $1 \text{ ккал} = 427 \text{ кг} \cdot \text{м} = 4190 \text{ н} \cdot \text{м} = 4,19 \text{ кДж} = 1,163 \cdot 10^{-3} \text{ кВт} \cdot \text{ч}$.

Тепловой поток $1 \text{ ккал/ч} = 1,163 \cdot 10^{-3} \text{ кВт}$.

Энтальпия $1 \text{ ккал/кг} = 4,19 \text{ кДж/кг}$.

Массовая теплоемкость $1 \text{ ккал/(кг} \cdot \text{град)} = 4,19 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{град)}$.

Коэффициент теплопроводности $1 \text{ ккал/(м} \cdot \text{ч} \cdot \text{град)} = 1,163 \cdot 10^{-3} \text{ кВт/(м} \cdot \text{град)}$.

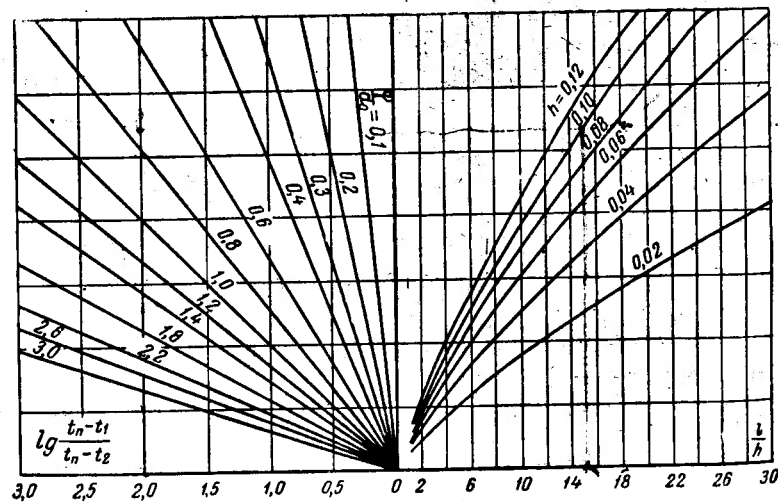
Коэффициенты теплопередачи и теплоотдачи $1 \text{ ккал/(м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{град)} = 1,163 \cdot 10^{-3} \text{ кВт/(м}^2 \cdot \text{град)}$.

Коэффициент динамической вязкости $1 \text{ кг} \cdot \text{сек/м}^2 = 9,81 \text{ н} \cdot \text{сек/м}^2$.

Коэффициент поверхностного натяжения $1 \text{ кг/м} = 9,81 \text{ н/м}$.

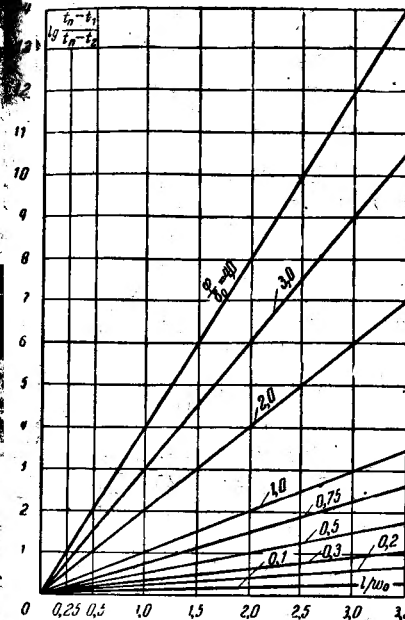
ПРИЛОЖЕНИЕ 2

НОМОГРАММА ДЛЯ РАСЧЕТА НАГРЕВА КРУГЛЫХ СТРУЙ ВОДЫ КОНДЕНСИРУЮЩИМ ПАРОМ В ВАКУУМЕ



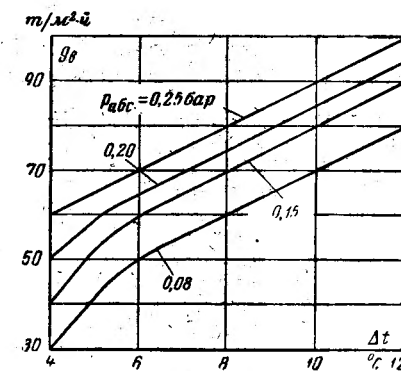
ПРИЛОЖЕНИЕ 3

НОМОГРАММА ДЛЯ РАСЧЕТА НАГРЕВА ПЛОСКИХ И ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ СТРУЙ ВОДЫ КОНДЕНСИРУЮЩИМ ПАРОМ В ВАКУУМЕ



ПРИЛОЖЕНИЕ 4

ГРАФИК ДЛЯ РАСЧЕТА ВАКУУМНЫХ ДЕАЭРАТОРОВ ПЕРЕГРЕТОЙ ВОДЫ



ЛИТЕРАТУРА

1. Мамет А. П., Коррозия теплосилового оборудования электростанций, Госэнергоиздат, 1952.
2. Шкروب М. С. и Прохоров Ф. Г., Водоподготовка и водный режим паротурбинных электростанций, Госэнергоиздат, 1961.
3. Копьев С. Ф., Вспомогательное оборудование машинных цехов электростанций, Госэнергоиздат, 1954.
4. Хлыбов Б. М., Автоматизированные установки по вакуумному обескислороживанию воды, Оборонгиз, 1954.
5. Кастальский А. А., Проектирование устройств для удаления из воды растворенных газов в процессе водоподготовки, Госстройиздат, 1957.
6. Кирш А. К., Деаэрация в конденсаторах паровых турбин, «Теплоэнергетика», № 10, 1962.
7. Рябцев Н. И., О некоторых способах деаэрации питательной воды для промышленных котельных, «Промышленная энергетика», № 7, 1962.
8. Блинов К. А., Николаев Г. В., Полянский Н. И., Деаэрационное барботажное устройство конденсатора, «Электромашиностроение», № 1, 1963.
9. Олиker Н. И., Исследование процесса термической дегазации воды под вакуумом при барботаже водяным паром, «Известия высших учебных заведений. Энергетика», № 6, 1963.
10. Труб И. А., Каскадные конденсаторы смешения, изд-во «Пищевая промышленность», 1964.
11. Литвин О. П., О дегазации воды низкой температуры, Республиканская научно-техническая конференция по комплексному использованию тепла и топлива в промышленности, Сб. докладов, Изд-во Киевского университета, 1964.
12. Труб И. А., Литвин О. П., Мойсеевич С. И., Основные характеристики режима работы вакуумной деаэрационной струйной колонки, «Теплоэнергетика», № 6, 1965.
13. Труб И. А., Вакуумные деаэраторы, «Энергетика и электротехническая промышленность», № 2, 1965, Киев.
14. Труб И. А., Литвин О. П., Нагрев водяных струй конденсирующимся паром в условиях вакуума, Труды ЦКТИ, вып. 57, 1965.
15. Коновалов Г. М., Исследование работы конденсационных установок паровых турбин, Наладочные и экспериментальные работы ОРГРЭС, вып. XXXI, 1965.
16. Тетерюков В. И., Ротационные вакуум-насосы и компрессоры с жидкостным поршнем, Машигиз, 1960.
17. Лифшиц А. Г., Абрамов В. М., Бесшумный барботер, «Энергетик», № 9, 1964.
18. Мещерский Н. А., Эксплуатация водоподготовительных установок, Труды ЦКТИ, вып. 63, 1965.
19. Сборник работ «Теплообменная аппаратура паротурбинных установок электростанций высокого давления, изд-во «Энергия», 1965.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Глава первая. Теоретические основы вакуумной деаэрации воды	12
1-1. Физические основы термической деаэрации воды	12
1-2. Вакуумная деаэрация воды	15
1-3. Условия, обеспечивающие интенсивное протекание процесса вакуумной деаэрации	19
Глава вторая. Конструкции и расчет вакуумных деаэраторов	25
2-1. Конструкции колонок вакуумных деаэраторов	25
2-2. Основы расчета вакуумной деаэрационной колонки	34
2-3. Пример расчета	37
Глава третья. Вспомогательное оборудование и схемы вакуумных деаэрационных установок	44
3-1. Бак-аккумулятор	44
3-2. Охладитель выпара	47
3-3. Газоотсасывающие устройства	51
3-4. Прочее оборудование	56
3-5. Схемы вакуумных деаэрационных установок	59
Глава четвертая. Вопросы изготовления, монтажа и эксплуатации вакуумных деаэрационных установок	77
4-1. Изготовление и монтаж	77
4-2. Эксплуатация, контроль и регулирование	82
Приложения. 1. Перевод единиц измерения международной системы (СИ) в другие единицы измерения	95
2. Номограмма для расчета нагрева водяных струй конденсирующимся паром в вакууме	
3. Номограмма для расчета нагрева плоских и цилиндрических струй воды конденсирующимся паром в вакууме	
4. График для расчета вакуумных деаэраторов перегретой воды	

Литература